

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE
DE FRANCE

CETTE SOCIÉTÉ, FONDÉE LE 17 MARS 1830,
A ÉTÉ AUTORISÉE ET RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR ORDONNANCE DU 3 AVRIL 1832.

CINQUIÈME SÉRIE

TOME ONZIÈME

FASCICULE 4-5-6

Feuilles 8-15 — Planche III-V

26 figures dans le texte
(1 portrait)

PARIS
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE
28, rue Serpente, VI

COMPTES DE CHÈQUES POSTAUX PARIS, N^o 173-72
Téléph. : DANTON 90-61

1941

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

FONDÉE LE 17 MARS 1830.

Etablissement d'Utilité Publique, reconnu par Ordonnance du 3 avril 1832.

EXTRAITS DU RÈGLEMENT

ART. 2. — L'objet de la Société est de concourir à l'avancement de la Géologie en général et particulièrement de faire connaître le sol de la France, tant en lui-même que dans ses rapports avec les Arts industriels et l'Agriculture.

ART. 3. — Le nombre des membres de la Société est illimité. Les Français et les Étrangers peuvent également en faire partie. Il n'existe aucune distinction entre les membres.

ART. 42. — Pour assister aux séances, les personnes étrangères à la Société doivent être présentées chaque fois par un de ses membres.

ART. 46. — Aucune communication ou discussion ne peut avoir lieu sur des objets étrangers à la Géologie ou aux Sciences qui s'y rattachent.

ART. 48. — Chaque année, de juillet à novembre, la Société tiendra une ou plusieurs séances extraordinaires sur un point qui aura été préalablement déterminé.

ART. 55. — Tous les travaux destinés à l'impression doivent être inédits et avoir été présentés à une séance.

ART. 75. — Les auteurs reçoivent 50 tirages à part de leurs communications insérées au *Bulletin* : ils peuvent en outre en faire faire à leurs frais, en passant par l'intermédiaire du Secrétariat.

AVANTAGES ACCORDÉS AUX MEMBRES

Les membres de la Société reçoivent *gratuitement* les **Comptes rendus des séances et le Bulletin**.

Le service de la Bibliographie des Sciences géologiques n'est fait qu'aux membres qui envoient 50 fr. par an pour les frais de port et de manutention.

Les membres peuvent utiliser le prêt des livres à domicile (cautionnement 300 fr.).

Ils peuvent *acheter* à la Société : 1° avec une remise de 50 %, les **Comptes rendus et les Bulletins** (260 fr. l'année), la **Bibliographie** (100 fr. l'année), les **Mémoires de Géologie** (par mémoire) ; 2° avec une rem. de 20 %, les **Mémoires de Paléontologie** (par mémoires séparés), les **Mémoires** (nouvelle série) par souscription au volume (200 fr., étr. 230) ou par mémoires séparés.

La Société met également en vente les ouvrages de Fontannes et de Cossmann. Catalogue et prix sur demande.

1. La remise ne s'applique que pour un seul exemplaire. Elle ne s'applique pas aux séries complètes, mises en réserve, qui ne sont vendues qu'après décision spéciale du Conseil.

CONDITIONS D'ADMISSION

Être présenté à une séance de la Société par deux de ses membres qui auront signé la présentation et avoir été proclamé dans la séance suivante (art. 4 du Règlement).

A défaut de deux parrains, adresser au Secrétariat un exposé de titres et références.

Cotisation : 100 francs par an.

Membres à vie : 3.000 francs.

Membres à perpétuité : 5.000 fr.

Pour tous renseignements, achats et abonnements, s'adresser impersonnellement au Secrétaire de la Société, 28, rue Serpente, Paris, VI.

POSIDONOMYA MOSELLANA
ESPÈCE NOUVELLE DU SINÉMURIEN DE LORRAINE

PAR **Louis Guillaume**¹.

PLANCHE III.

Le genre *Posidonomya*, bien représenté à l'ère primaire où il apparaît dès le Silurien, n'est plus connu au Jurassique que par un petit nombre de formes, extrémités de rameaux séparés², dont l'épanouissement brusque est des plus remarquables. Il en est ainsi de *Posidonomya* (*Steinmannia*) *Bronni* VOLTZ au Toarcien inférieur et de *Posidonomya alpina* A. GRAS au Jurassique moyen. Ces deux espèces se sont multipliées de façon extraordinaire à ces époques et se retrouvent, avec une profusion d'individus dans certains sédiments, à travers toute la surface du globe. Ce sont d'excellents types d'espèces « cosmopolites », caractère d'ailleurs partagé avec d'autres espèces de la famille des Posidonomyidés³.

En dehors de ces périodes de pullulation, le genre semble subir une éclipse à peu près totale, les chaînons intermédiaires étant demeurés inaperçus. Ce qui peut ajouter à l'intérêt de l'espèce décrite ci-dessous, c'est qu'elle se place dans un intervalle d'apparente disparition et vient combler une lacune. Elle a été rencontrée dans les assises supérieures du Calcaire à Gryphées, dans un sondage exécuté en 1931, environ 8 kilomètres au NNE de Thionville⁴. Les carottes remontées de ce forage en ont fourni de très nombreux spécimens, localisés sur une hauteur de 30 centimètres, dans des marnes schisteuses. Ils s'y présentent à l'état d'empreintes aplaties, pour la plupart incomplètes mais parmi lesquelles cependant une dizaine montrent un état de conservation satisfaisant et permettent de donner une description et une figuration de l'espèce (pl. III).

1. Note présentée à la séance du 21 avril 1941.

2. L. GUILLAUME. Révision des Posidonomyes jurassiques. *C. R. S. S. G. F.*, séance du 2 mai 1927, pp. 105-106 et *B. S. G. F.* (4), t. XXVII, 1927, pp. 217-234, pl. X.

3. C'est le cas notamment de certaines Daonelles et Halobies du Trias ainsi que de *Monotis salinaria* au Trias supérieur.

4. L. GUILLAUME. Contribution à la stratigraphie et à la tectonique du Lias dans la région de Thionville. Le « Fossé de Thionville ». *B. S. G. F.* (5), t. X, 1940, pp. 35-73. Il s'agit du forage II dont la coupe est donnée p. 39.

29 juillet 1942.

Bull. Soc. Géol. Fr. (5), XI. — 8

Posidonomya mosellana n. sp.

Planche III, fig. 1, 2 a, 3 a.

Les valves sont légèrement inéquilatérales, plus hautes que larges. Le bord cardinal, rectiligne, très court, mesure environ le quart de la largeur de la valve. Le bord antérieur, régulièrement arrondi, rejoint la charnière sous un angle très ouvert. Le bord postérieur présente une longue troncature rectiligne qui forme avec la charnière un angle de 100 à 120 degrés, selon la direction suivant laquelle s'est effectué l'aplatissement du test. Le crochet, peu marqué, est médian.

L'ornementation consiste en côtes concentriques fines et régulières, d'un dessin élégant, très serrées dans la région du crochet ; leur espacement augmente à partir d'une certaine distance du crochet. Ce caractère montre d'ailleurs des variations entre d'assez larges limites suivant les individus considérés, les côtes demeurant généralement plus serrées que sur le type figuré.

Dimensions de l'exemplaire figuré (fig. 1) :

Largeur maxima (environ au 1/3 inférieur de la hauteur) :	24 mm
Hauteur :	28 mm
Longueur du bord cardinal :	6 mm
Longueur de la partie rectiligne du bord postérieur) :	18 mm
Angle du bord postérieur avec la charnière :	116°
Nombre de côtes :	55 env.

Rapports et différences. — Les caractères de la ligne cardinale, très courte, et du contour des valves avec la troncature rectiligne du bord postérieur, séparent nettement cette espèce de *P. (Steinmannia) Bronni* VOLTZ comme de *P. alpina* A. GRAS.

L'espèce avec laquelle la forme nouvelle du Sinémurien paraît avoir les plus proches analogies est *Posidonomya Becheri* BRONN du Culm dont certaines empreintes présentent les mêmes caractères : crochet médian, charnière courte, bord postérieur tronqué, rectiligne. Dans *P. Becheri* cependant, l'angle que fait ce bord postérieur avec la charnière est toujours plus ouvert, soit au moins 140 degrés contre 120 degrés au plus chez *P. mosellana*¹.

Il convient de signaler qu'aucune des formes du Trias décrites

1. J. WEIGELT. Die Bedeutung der Jugendformen karbonischer Posidonomyen für ihre Systematik. *Palaeontographica*, t. 64, pp. 43-148, pl. XXII à XXXI, Stuttgart, 1922. Comparer *P. mosellana* en particulier avec les spécimens de *P. Becheri* figurés par Weigelt : pl. XXVI, fig. 22 et 23 ; pl. XXVII, fig. 1, 2, 3, 9 et 10.

et figurées jusqu'ici, à ma connaissance, ne montre les caractères communs à l'espèce du Carbonifère inférieur et à celle du Sinémurien. Si l'on peut être tenté d'imaginer un rapport de filiation entre ces deux espèces, les chaînons intermédiaires demeurent à découvrir.

Position stratigraphique. — Les conditions mêmes de la découverte de la nouvelle espèce permettent de préciser sa position stratigraphique. Elle provient d'assises situées dans le forage environ 12 mètres au-dessous du toit du Calcaire à Gryphées. On se trouve là au-dessous des couches à *Belemnites acutus*, dans la partie inférieure de la zone à *Arnioceras semicostatum* (division supérieure du Sinémurien *str. s.* = zone à *Arnioceras geometricum* des auteurs allemands).

Dans une étude sur les Alpes bavaroises à l'Ouest de Salzbourg, L. Nöth a décrit, sans la nommer ni la figurer, une *Posidonomye* nouvelle provenant de marnes gris-noir et calcaires marneux de la zone à *A. geometricum* ¹.

Les différents caractères énoncés par L. Nöth semblent correspondre à ceux de *Posidonomya mosellana*. L'horizon géologique concorde également. Le fait que Nöth n'a ni nommé ni figuré ses échantillons semble indiquer qu'il n'a eu à sa disposition que des spécimens d'assez mauvaise conservation. Il est à remarquer également que cet auteur ne fait pas mention d'un des caractères les plus remarquables de l'espèce, à savoir, le bord postérieur rectiligne. L'identité des formes des Alpes bavaroises et des environs de Thionville est vraisemblable mais ne paraît pas encore suffisamment établie.

1. L. NÖTH. Der geologische Aufbau des Hochfellsn-Hochkienberggebietes. N. J. F. M. etc., B. Bd 53 B (1926), pp. 409-510, Stuttgart, 1926. Je traduis ci-dessous la diagnose et les indications de Nöth :

« *Posidonomya n. sp.*

« Un grand nombre de fragments de cette forme nouvelle proviennent des marnes schisteuses du Westerberg près de Ruhpolding. Ils se distinguent de *P. Bronni* tout d'abord par leur contour et, en outre, par leur bord cardinal remarquablement court. *P. Bronni* est arrondie et le rapport de la hauteur à la largeur est voisin de 1/1. Chez les exemplaires adultes de la nouvelle espèce, la hauteur surpasse notablement la largeur. On enregistre les rapports suivants :

Largeur	Hauteur	Longueur du bord cardinal
16 mm	20 mm	6 mm
12 mm	14 mm	4,5 mm
6 mm	8 mm	2 mm

« Le caractère le plus frappant est la faible longueur du bord cardinal qui conditionne le contour ovale de la forme. La plus grande largeur de la coquille se tient au tiers inférieur; le crochet, peu saillant, est au milieu de la charnière. La sculpture se compose de nombreuses rides concentriques ».

EXPLICATION DE LA PLANCHE III

Posidonomya mosellana n. sp.

Fig. 1 — Dessin de la valve droite. Grandeur naturelle.

Fig. 2. — Fragment de carotte dans des marnes schisteuses avec nombreuses empreintes de *Posidonomya mosellana*. a) contre-empreinte du spécimen dessiné. Grandeur naturelle.

Fig. 3. — Agrandissement ($\times 2$) d'une partie de la figure précédente.
Coll. Laboratoire de Géologie de la Sorbonne.

ESSAI D'UNE CLASSIFICATION RAISONNÉE DES MATÉRIAUX MEUBLES

PAR **Jacques Bourcart** ¹.

INTRODUCTION

Les roches sédimentaires solides ont toutes été, avant ou pendant leur dépôt, à l'exception des sels solubles, à l'état d'*ensembles* de grains ou de particules, indépendants les uns des autres. Ces grains pouvaient être de dimensions macroscopique, microscopique ou ultramicroscopique ². Après leur dépôt, ils ont été *cimentés*, ou sont devenus solides par simple aggrégation, donnant ainsi des *roches*. D'autres fois, les matériaux déposés sont restés meubles à travers les temps géologiques.

Dans le cas des roches cimentées, il semble tout naturel de leur attribuer des « propriétés d'ensemble ³ » : résistance à l'écrasement, module d'élasticité, dureté, conductibilité thermique, etc. Leur nature particulière est alors oubliée ; quand leur grain est très fin, elle n'a même été reconnue qu'au fur et à mesure des progrès de la microscopie.

En revanche, quand il s'agit de matériaux restés meubles : gravier, sables, limons divers, des « propriétés d'ensemble » ne paraissent pas évidentes. L'analyse de ces matériaux a détourné toute l'attention des chercheurs vers les propriétés *individuelles* des particules qui les constituent : c'est sur leurs caractéristiques géométriques, physiques, minéralogiques, sur leur origine, en outre, que les pétrographes se sont basés, pour dénommer et classer les ensembles.

Il en est tout autrement pour le sens commun et pour les techniciens : un gravier, un sable, un limon, ont toujours été considérés par eux comme des *unités*. Cette façon de faire peut sembler grossière : l'étude et la mesure de « propriétés d'ensemble », dans un temps où la physique s'efforce à une analyse

1. Note présentée à la séance du 5 mai 1941.

2. Jacques BOURCART. Recherches des bases d'une classification des « Roches » meubles et des systèmes de particules.

3. *Id.* Introduction aux *Études Potamologiques*, I, 1, 1938.

Recueil offert à M. S. Bončev. *Journ. Soc. Bulgare de Géol.*, 1939, 11, p. 427.

de plus en plus fine, ne sont-elles pas un retour en arrière ? Il me semble qu'il n'en est rien. La reconnaissance de plus fines structures ne doit jamais, sous peine de faire perdre de vue l'objet essentiel de la recherche, conduire à laisser de côté les propriétés globales des ensembles. Des exemples, empruntés à d'autres sciences, sont si évidents qu'il semble presque superflu de les indiquer : les organismes vivants sont composés de cellules (qui elles-mêmes sont des ensembles) ; tous les progrès qui ont été faits dans la connaissance de la morphologie, de la physiologie de ces cellules, ne détournent pas les anatomistes de la mesure de rapports numériques pour les organes ou même pour les individus, ni les physiologistes de l'étude des réactions physico-chimiques globales de ces organes ou de ces individus. Dans toutes les sciences, un individu, à quelque échelle que l'on se place, n'est qu'un ensemble. Les atomes étaient des particules *insécables* ; ils sont devenus des ensembles. N'aurons-nous pas un jour la même idée des électrons ?

Dans notre domaine propre, une suspension dans l'eau, très concentrée, de particules minérales, une *boue*, présente toutes les propriétés des liquides ; comme eux, elle a une viscosité mesurable, une conductibilité thermique propre, une densité globale. L'écume de la mer est faite de bulles d'air, limitées par une mince paroi composée d'eau de mer et de poussières minérales, de frustules de Diatomées ou de spicules d'Éponges, enfin de grains colloïdaux. Chaque bulle, et l'ensemble des bulles, présentent néanmoins une des propriétés essentielles des solides : une résistance élastique mesurable.

La géologie, comme la technique, ayant affaire à des ensembles, se doit d'étudier leur comportement global. Ce n'est pas une raison pour ne pas chercher à connaître leur constitution intime, mais le microscope ne doit pas nous cacher leur réelle unité ; l'étude de l'arbre, voire de la cytologie de la feuille de cet arbre, ne doit pas nous cacher la forêt.

C'est donc à ces propriétés d'ensemble, dont la connaissance est essentielle pour le géologue et pour l'ingénieur, que nous ferons appel en cherchant les bases d'une classification des matériaux meubles.

Classification des matériaux meubles.

Les matériaux meubles sont faits d'un ensemble de grains. Toute classification doit donc les répartir, soit suivant la nature ou les propriétés individuelles de ces grains, soit suivant les

propriétés de l'ensemble. L'idée, répandue chez les géologues, de les classer suivant l'*origine* de chaque grain ne peut venir qu'en second lieu.

Avant de discuter les différentes classifications qui ont été proposées par les spécialistes, il me semble utile de rechercher le sens exact des mots qui, dans l'usage courant, sont employés pour désigner chaque espèce de matériau meuble. La géologie, en effet, au lieu d'utiliser une terminologie gréco-latine créée de toutes pièces, comme beaucoup d'autres sciences, a hérité de l'art des mineurs et des carriers un vocabulaire vulgaire, mais qu'elle transforme souvent inconsciemment.

Les noms courants, comme gravier, sable, poussière, sont évidemment fondés sur une des propriétés individuelles des grains, essentielle comme nous le verrons, leur *dimension* ; mais en les employant, on a toujours eu devant les yeux les « propriétés d'ensemble » du matériau. Il semble que ce n'est que dans le cas où un recul, opération déjà artificielle, est nécessaire pour embrasser l'ensemble d'un seul coup d'œil, que le nom s'applique à la partie et non au tout.

Le mot « bloc » a donc une signification individuelle et non collective. L'œil aperçoit tout d'abord, dans un amas de blocs, le bloc isolé. En revanche, la nature particulière du gravier, du sable et, *a fortiori*, celle des matériaux plus fins, est reconnue plus tard. Il semble que ce soit une question de champ d'exploration visuelle : quand un petit enfant regarde une grève de galets, ce n'est pas l'ensemble des galets, mais un galet, qui attire son attention.

Néanmoins, l'idée que, dans les matériaux meubles, il s'agit toujours de la réunion d'individus, de particules indépendantes, n'a jamais été perdue de vue, même quand il s'agissait de poussières ou de poudres dont les grains ont une dimension voisine de la limite du pouvoir séparateur de l'œil (1μ). Ce n'est pas parce que les grains qui les forment sont invisibles sans le secours d'un instrument d'optique, que les argiles sont considérées comme des roches et non comme des poudres, mais parce que les particules qui les constituent adhèrent très fortement les unes aux autres. C'est cette *cohésion* qui fait de l'argile un véritable solide.

D'autres ensembles meubles, constitués par des particules d'une dimension très supérieure à celle des argiles, mais liées entre elles, paraissent des corps continus : non seulement les vases et limons, qui sont des poudres, englobées dans un liant, mais même des

ensembles encore plus grossiers dont personne n'ignore pourtant la constitution, comme le mortier ou le béton.

Les classifications scientifiques ou techniques ne se sont jamais beaucoup écartées de ces classifications du langage courant :

Elles ont pris pour base de leurs subdivisions la dimension des grains constituants, mais en sous-entendant toujours des propriétés d'ensemble qui sont le motif des coupures. Ce motif n'est pourtant pas, le plus souvent, indiqué. Comme nous le verrons, les limites de dimension ne varient que bien peu suivant les auteurs et divergent aussi bien peu du sens commun.

Dans toutes ces classifications, la dimension des particules ne caractérise pas seulement les coupures de premier ordre, mais même celles de second ordre : sables *grossiers*, *moyens* et *fins*, par exemple. Il semble que les pétrographes ne se soient écartés de ce mode de subdivision que lorsqu'ils avaient à classer des roches où prédominent les grains de carbonate de calcium, cimentés ou non ; elles portent toutes le nom de *calcaires* — et non de grès, par exemple — quand les particules constituantes étaient à l'origine un sable calcaire, de *craie*, quand elles étaient une poudre. Le comportement assez particulier des grains calcaires, le fait qu'ils sont le plus souvent liés par un ciment calcaire, font confondre sous le même nom particules et liant.

La première raison du choix des caractéristiques dimensionnelles comme « raison » des classifications est dans l'extrême facilité de leur appréciation et dans la grande uniformité de ce caractère des particules dans l'ensemble.

Si l'on prenait comme raison, la nature minéralogique des particules, les difficultés seraient très grandes et la classification ne serait plus homogène. Pour tous les matériaux dont la dimension est supérieure à celle des grains de sable, en effet, la nature minéralogique des particules est très variée dans un même ensemble. Chacune n'est même pas, le plus souvent, faite d'un minéral unique, mais d'un fragment de roche, lui-même assemblage de minéraux variés.

Dans le cas des sables, il est extrêmement remarquable que la très grande majorité des grains, au point de vue statistique, est faite de quartz (et de quartz du granite), mais on ne peut tout de même parler que de prédominance : d'autre grains minéraux prennent une part importante à la constitution des sables.

Dans le cas des poudres ou poussières, la variété est de nouveau la règle : quartz et calcaire, oxydes ou hydroxydes de fer,

micas, minéraux de l'argile, etc.. L'analyse est déjà délicate. Quand il s'agit d'ensembles dont les particules constituantes sont de plus petites dimensions encore, comme les argiles (1μ), seules des méthodes d'emploi encore plus difficile, comme les rayons X par exemple, peuvent permettre de déterminer leur nature minéralogique.

Ce ne sera donc le plus souvent que, secondairement, par une apposition, en français souvent par un adjectif, que l'on exprimera la nature du principal constituant d'un ensemble. Une seconde apposition marquera celle d'un minéral particulièrement caractéristique : sable fin quartzeux grenatifère (ou à grenats), par exemple. Des tableaux de classification à double entrée peuvent être dressés ; l'intervalle de dimensions marquant les coupures horizontales, la nature du grain prédominant, les colonnes verticales.

Bien des géologues ont pourtant cherché la raison de leur classification dans l'origine des grains, minérale ou biologique (Haug, Twenhoffel) ou dans leur mode de dépôt, c'est-à-dire dans la nature du dernier agent de transport : sables marins, fluviaux, éoliens.

Examinons d'abord le premier mode de subdivision. Un gravier, un sable corallien sont-ils des formations détritiques ou biologiques ? Il est souvent facile d'en décider pratiquement, bien que dans les deux cas, il s'agisse, évidemment, de débris. Mais, à partir de quelles proportions, qui d'ailleurs ne changent pas les propriétés d'ensemble du matériau, un gravier formé d'algues calcaires roulées ou brisées et de petits galets minéraux, un sable à débris de coquilles, doivent-ils être déclarés d'origine biologique ou minérale ?

Quant à la seconde façon de subdiviser les matériaux : suivant leur mode de transport avant sédimentation, elle présente certainement un plus grand intérêt pratique. C'est du type de transport, en effet, que dépend surtout la forme géométrique des grains : voisine d'une sphère, d'un ellipsoïde, d'un cube ou d'une aiguille pyramidale, à l'exception des minéraux ayant une facilité de clivage. En second lieu, de la nature de cet agent de transport dépend le degré d'uniformité des dimensions des grains, ce que l'on appelle en argot technique, la *monodispersion* ou la *polydispersion* de l'ensemble et la fréquence même d'une certaine dimension. Les unes et les autres dépendent des caractéristiques mécaniques de cet agent de transport — qui est le plus souvent un courant — de la concentration du mélange et des interactions des particules autant que de la nature du cou-

rant d'eau ou d'air. Les transformations, l'usure notamment, que les particules éprouvent du fait du courant sont encore mal connues ; mais elles dépendent, elles aussi, de la dimension de ces particules.

Décider quel courant a transporté les particules avant leur sédimentation est, évidemment, facile quand on peut assister à ce dépôt. Mais quand il faut, déductivement, le déterminer, surtout s'il s'agit de formations du passé, le diagnostic devient difficile. Celui-ci se base, en effet, sur des caractères difficiles à apprécier et souvent contestables.

En outre, pourquoi faut-il élire le dernier mode de transport ? Le sable d'une dune prend-il ses caractères essentiels du fait qu'il a été transporté par le vent ? Celui qui forme les dunes littorales de Gascogne par exemple, a été arraché par la mer, soit à un littoral formé de « Sables des Landes », dont l'origine jusqu'ici est inconnue, soit aux accumulations fluviales, actuellement sous-marines, qui se sont faites à l'époque de la grande régression quaternaire. Le sable des dunes du Grand Erg Occidental au Sahara, a d'abord été déposé par de grandes rivières dans une cuvette sans écoulement, puis il a été longuement façonné par le vent. Celui des dunes de Suède ou de l'Allemagne du Nord est glaciaire, puis fluvial, puis enfin amassé en dunes après un très court transport. L'histoire d'un seul grain de sable peut embrasser tous les temps géologiques : grain de quartz d'un granite archéen, il a fait ensuite partie d'un grès fluvial algonkien, d'un grès marin dévonien, d'un grès triasique continental... et ainsi de suite. L'usure du grain, en dessous de certaine dimension, est extrêmement lente et ne se produit peut-être que par dissolution. On voit qu'il est difficile, par la seule forme, de déchiffrer cette histoire souvent fort longue. Quant au type de répartition de la taille des grains dans le mélange, il est certainement susceptible de donner des renseignements, comme nous le verrons dans le paragraphe suivant, mais les travaux qui ont été faits dans cette direction sont peu nombreux d'abord ; ils sont ensuite suspects dans leurs conclusions. Les conditions dynamiques du courant qui a transporté les sédiments avant le dépôt n'ont en général pas été préalablement déterminées.

Il nous semble donc que le seul terrain solide pour y asseoir une classification est celui de la dimension des particules. C'est d'ailleurs le parti qu'ont pris la plupart des spécialistes, savants ou techniciens : pétrographes, océanographes, pédologues, ingénieurs du béton, etc. (tableau ci-contre.)

L'accord est, dans l'ensemble, excellent. Toutes les classifications admettent 2 mm. comme limite supérieure des sables. Les simples divergences sont les suivantes : La classification de Twenhoffel qui prend pour base le chiffre 4, relève à 0.069 mm.,

WENTWORTH	KOPETZKY	ATTERBERG (Com. Int. Etudes des sols, 1931)	TWENHOFFEL	SCHENK (Béton)	INTERNATIONALE (Pédologique)	THOULET (Océanographie)
Ensembles macroscop.	> 30 mm. éboulis brèches de base	< 20 blocs et blo- caux	Boulder 256 cobble 64	55-45 } tamis 45-35 } 11 35-25 } 10 25-18 } 9 18-12 } 8 12-18 } 7 8-5 } 6 5-2 } 5 4		14,16-6,55 gravier gros 6,55-3,85 gravier moyen 3,85-1,50 gravier fin
2 mm.	30-2 gravier gravette	20-2 gravier	pebble granules 4 2			
	Sable 2-1 } grossier 1-0,5 } moyen 0,5-0,2 } fin	2 } sable grossier 0,2	2-1 very coarse sand 1-0,5 coarse sand (1 à 1/2) 0,5-0,25 medium sand (1/2 à 1/4) 0,25-0,125 fine sand (1/4 à 1/8) 0,125-0,069 very fine sand (1/8 à 1/16) 0,069 silt (1/16 à 1/256)	sable 2-0,6 } grossier 3 0,6-0,2 } moyen 2 0,2-0,086 } fin 1 0,2		> 1,50 sable grossier 1,50-0,61 sable moyen 0,61-0,34 sable fin 0,34-0,13 sable très fin
microscop.	Mo 0,2-0,1 } grossier 0,1-0,05 } moyen 0,05-0,02 } fin	0,2 } sable fin 0,02		farine 0,086-0,05 } grossière 0 0,05-0,01 } fine 0,02	sable fin	
0,02	Poussière ou Schluff 0,02-0,006 } grossière 0,006-0,002 } fine	0,02 Schluff 0,002				< 0,004 vase
0,002	Colloïdes 0,002-0,0006 } grossier 0,0006-0,0002 } fin 0,0002-0,0001 } très fin	< 0,002 argile			0,02 limons 0,002	
0,0001	< 0,0001 Ultracolloïdes				< 0,002 argile	argile pure

au lieu de 0,02 mm., la limite inférieure des sables ; celle de Schenk, qui est fondée sur les dimensions de maille des tamis (dimension qui pour les tamis fins excède sensiblement celle des grains qui peuvent traverser la maille, la porte à 0,086 ; celle de Twenhoffel relève la dimension maxima des particules d'« argile » à 0,004 (au lieu de 0,002). L'ordre de grandeur est partout le même. L'accord existe aussi avec le sens commun. Un pareil consensus ne peut avoir qu'une signification profonde. Aucun des classificateurs, sauf, dans un tableau récapitulatif, J. Stiny ¹, ne semble pourtant s'être rendu compte de la raison des coupures : la vérité est que toutes ces classifications sont fondées sur un ensemble de propriétés physiques qui domine dans toute la classe inconsciemment reconnue. Toutes ces propriétés ont évidemment un champ d'application qui dépasse de beaucoup celles de la classe. Mais chacune est alors masquée par une autre prédominante. Il en est ainsi, par exemple, des mouvements browniens qui marquent, à mon sens, une limite importante que nous admettrons être de 0,001 mm. (1 μ). Il est bien certain que les déplacements de particules par le choc des molécules du liquide qui les contient, se produisent encore pour des dimensions plus grandes. Mais l'énergie ainsi transmise est alors insuffisante pour lutter contre l'adhésion des grains les uns aux autres grâce à la pellicule d'eau qu'ils fixent, propriété essentielle de la classe dont les limites sont 0,001-0,02 mm. Nous trouverons ainsi, pour chaque classe, ce faisceau caractéristique de propriétés prédominantes qui fait que jamais le sens commun n'a confondu un sable, une poudre, un gravier.

De l'examen du tableau précédent, on tirera une autre conclusion. Tous les auteurs ont emprunté les noms des classes soit à la langue courante, soit à des termes de métier. Quelques rares géologues : F. Rinne ² (suivi par E. Haug et Niggli), plus récemment Grabau ont créé des terminologies nouvelles qui n'ont pu se répandre ni parmi les géologues ni parmi les techniciens. Aucune tentative de cet ordre n'aura jamais chance de succès ; on reste fidèle aux noms vulgaires, très chargés de sens, mais mal définis. Nous suivrons ces errements, en essayant d'explicitier ces termes.

Kopetzky, suivi par Terzaghi, a utilisé une classe spéciale qui porte l'étrange nom de *Mo* ou *Mu* (peut-être rappelant le mot Mehl = farine) ; elle correspond, *pro parte*, au *silt* des Anglais, à la « farine » des cimentiers. Je montrerai que cette coupure est hybride, sa moitié

1. Technische Gesteinkunde. Vienne. 1929, p. 23.

2. Pséphites, psammites, pélites.

supérieure correspond aux sables très fins des pédologues, mais qui sont encore des sables ; sa moitié inférieure à des poudres.

Le nom d'argile est souvent employé pour caractériser la classe des particules où les mouvements browniens, la charge électrique superficielle jouent déjà un rôle prédominant. Les grains qui constituent, dans la nature, la plupart des liants — et qui sont peut-être déjà des agrégats : grains d'hydroxydes de fer, d'humus ou de sels des acides organiques — ont cette dimension qui les rendent visibles à l'œil aux forts grossissements du microscope. Pour des raisons d'uniformité, nous réserverons le nom d'argile aux ensembles formés de particules de silicates d'aluminium ou de silicate d'aluminium, de magnésium et de calcium, en donnant à cette classe où apparaissent déjà bien des propriétés des colloïdes, le nom de *précolloïdes*.

La classification que je propose est donc la suivante :

1. Cailloux¹ ou ballast² $> 2 \text{ mm}^3$.
2. Sable⁴ $< 2 \text{ mm.} \quad > 0,02 \text{ mm.} \quad (20 \mu)$
3. Poudres $< 0,02 \text{ mm.} \quad > 0,001 \text{ mm.} \quad (1 \mu, 10^4 \text{ \AA})$
4. Précolloïdes $< 0,001 \text{ mm.} \quad > 0,0001 \text{ mm.} \quad (0,1 \mu, 10^3 \text{ \AA})$
5. Colloïdes $< 0,0001 \text{ mm.}$

Uniformité ou variété de grains des ensembles.

Les expériences et les essais de théories qui sont exposés ci-dessous supposent que tous les matériaux étudiés sont constitués par des grains d'une même dimension. Il serait plus exact de dire que l'on s'est astreint à étudier des ensembles où l'écart entre les dimensions des grains est assez faible pour que, en première analyse, il soit possible de les considérer comme uniformes. C'est ce que beaucoup de spécialistes appellent la « monodispersion » d'un ensemble.

Il est évident qu'il n'existe pas, dans la nature, de matériaux uniformes ; tous sont polydispersés. Mais il convient de rechercher quel est, dans les matériaux naturels, le degré de cette variation de dimensions : si elle se fait dans des limites très larges ou serrées. Cette variation est-elle, en outre, continue ou discontinue, c'est-à-dire les ensembles sont-ils ou non composés de plusieurs fractions ou *phases*⁵ dont chacune joue son propre rôle ?

1. Étymologie inconnue, en terme de blason = « silex taillé ».
2. De l'anglais *ballast* = lest, du germanique *last* = charge.
3. Le maximum est de l'ordre du m^3 .
4. Du latin *sabulum* = gravier, passé avec le sens de sable en français et en italien ; les autres langues latines ont gardé le mot classique *arena*.
5. Ce mot, qui a un sens beaucoup plus restreint en thermodynamique (homogénéité à toutes les échelles), est ici employé pour désigner une partie constituante, *homogène à une échelle déterminée*.

L'idée de l'uniformité de grain du sable, des poudres, par exemple, paraît d'expérience courante. Celle de la variété s'est introduite plus tard, à la suite surtout des recherches des pédologues.

L'étude de ces variations dans les dimensions des grains d'un ensemble meuble se fait par les méthodes de l'analyse dite *granulométrique* ou souvent mécanique : l'une est le *tamisage* au travers de tamis de fils de bronze ou de soie, une autre la séparation par différences de vitesse de chute dans l'eau des particules suivant leur dimension, une troisième fondée sur la vitesse du courant d'eau ou d'air qui suffit à les entraîner. Enfin on a pu utiliser l'électrisation des particules. Dans la pratique, chaque méthode est employée dans un certain intervalle de dimensions. Il est bon toutefois de les faire assez largement chevaucher.

Pour se rendre compte du degré de variation, il est indispensable de débiter par un fractionnement très serré du matériel. Les résultats de ce fractionnement sont exprimés en courbes : les dimensions étant portées en abscisses, les quantités en ordonnées. Il existe plusieurs types de représentation de ces analyses : courbes cumulatives, courbes à coordonnées polaires, courbes de dispersion ; chaque type a ses partisans. Nous n'entrerons pas ici dans la discussion des avantages qu'ils présentent. Dans cette première recherche de l'importance des variations, il nous semble évident qu'il y a lieu d'employer les courbes de fréquence d'une certaine dimension : les dimensions linéaire des grains ou celle des mailles, à la rigueur pour plus de commodité si le champ d'exploration est vaste, leur logarithme, sont portés en abscisses, le pourcentage de la masse totale resté sur chaque tamis en ordonnées. Les courbes sont en cloches, du type de toutes celles de fréquence (courbes de Gauss), mais ces cloches sont souvent très étroites, de véritables clochers. Elles sont, en outre asymétriques : leur bord, vers les petites dimensions, est presque vertical. On peut aussi remarquer que toutes les cloches des sables se groupent dans un très petit espace.

La position du maximum indique la dimension la plus fréquente, voisine, vue l'étroitesse de la courbe, de la dimension moyenne et aussi de la dimension équivalente (dimension des particules d'un sable uniforme présentant la même surface totale que le sable étudié). On peut donc, en première analyse, considérer les sables — et beaucoup d'autres matériaux meubles — comme uniformes *quand la variation des dimensions est représentée par une cloche unique*.

Dans ce cas, le point où la courbe quitte l'axe des x indique

le maximum de dimension compatible avec ce type de transport. Le point où elle le rejoint, le minimum de dimension compatible avec le mode de sédimentation ou, souvent, le maximum compatible avec le vanage par un courant déterminé.

Chacune de ces valeurs peut être portée pour de nombreux sables par rapport à deux axes, donnant ainsi deux courbes parallèles entre elles qui peuvent être confrontées avec des courbes expérimentales indiquant pour chaque type de courant les vitesses limites de transport, de sédimentation et d'érosion (enlèvement). Ces courbes sont longtemps parallèles à une certaine distance les unes des autres.

Le plus souvent, la représentation n'est pas une simple courbe en cloche. Elle présente, avant la cloche, du côté des grandes dimensions une branche montante et une autre du côté des petites dimensions (fig. 2). On peut faire l'hypothèse que la gamme des tamis a été insuffisante et qu'il s'agit, en réalité de plusieurs courbes en cloches.

On observe, très souvent également des courbes en deux cloches, serrées les unes contre les autres ou combinées les unes avec les autres. Elles sont bien connues dans le cas où la fréquence d'un caractère a été étudiée dans une population mélangée et ont été notamment étudiée par Kostitzin (fig. 1). Il est possible, soit géométriquement, soit expérimentalement d'en faire l'analyse et de déterminer à quel type de transport ou de sédimentation correspond chaque courbe simple. J'ai montré précédemment¹, dans le cas des sables de l'estuaire du Bou Regreg, que pour des prises faites en étiage ou en crue, les rapports d'amplitude des deux cloches se modifiaient (fig. 2 et 3).

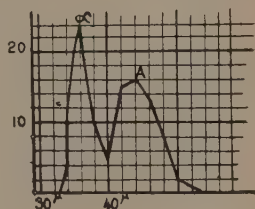
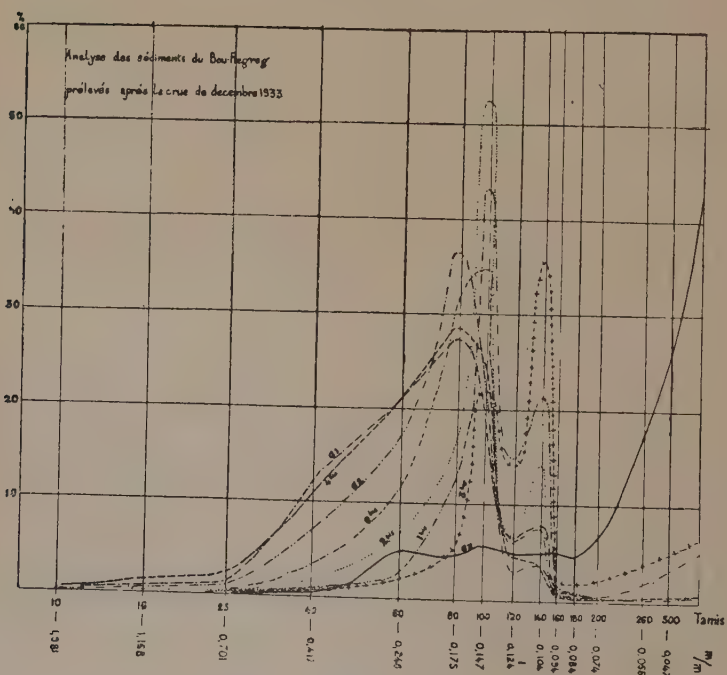
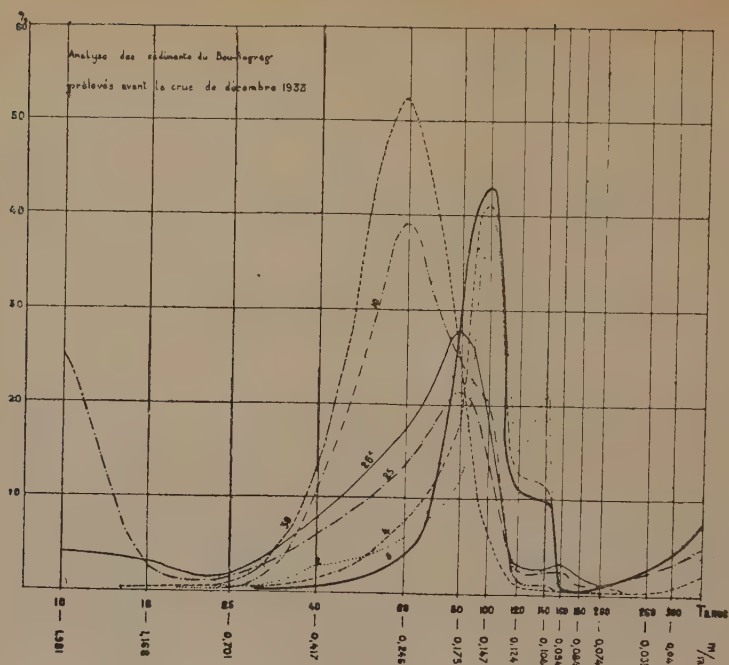


Fig. 1. — Polygone de fréquence de la largeur du corps d'une population mixte de *Paramecium Aurelia* et de *P. caudatum* (Jennings) in KOSTITZIN V. A. : *Biologie mathématique* : A. Colin, 1937.

Les analyses de sédiments marins ou fluviaux nous ont souvent montré des courbes en double ou triple cloches, très distantes les unes des autres et souvent séparées par un intervalle plat, voisin de l'axe des x. Il semble bien évident que chaque cloche correspond alors à un phénomène très différent. Une cloche peut ainsi être marquée dans les limites des galets, l'autre dans celles des sables, la troisième dans celle des poudres. Le gravillon de

1. CR. somm. Soc. Géol. France, 15 février 1937.



la Seine se compose ainsi de trois cloches, l'une indique la variation de la dimension pour des graviers essentiellement de silex, l'autre pour des granules de calcaires fins (jurassiques ?), de quartz non roulés (sables de Lozère) et de silex bien roulés, la troisième pour une poudre calcaire très fine qui provient du broyage des concrétions enveloppant les graviers. J'ai donné, dans le cas des dépôts de galets marins des observations analogues¹.

Nous sommes donc, étant donné que les propriétés des ensembles équivalents à ces diverses fractions sont très différentes, amenés à parler de *phases* différentes, constituant l'ensemble primitif. Le mode de représentation indiquant l'importance de chacune des phases dans l'ensemble peut se faire par des barres accolées dont la hauteur est proportionnelle au pourcentage de la phase. S'il n'y a pas plus de trois phases, le triangle équilatéral de Férét a été aussi bien adopté par les pédologues que par les ingénieurs, il permet, en outre, de figurer l'importance d'une propriété quelconque de l'ensemble pour les diverses proportions possibles des trois constituants.

Le problème important est, en effet, le suivant : Quand un ensemble est fait de deux ou plusieurs phases, quelle est celle, et dans quelle proportion, qui impose ses propres propriétés ?

L'étude des vases et des limons, dont beaucoup de propriétés sont déjà celles des argiles, m'a montré² que, à partir d'un certain pourcentage, c'est la matière fine, le liant, qui impose ses propriétés.

Un cailloutis ou gravier, mélangé de sable, présente, en présence d'eau, la cohérence qui est propre aux sables mouillés, pourvu que la quantité de sable soit suffisante pour que les tensions de la lame d'eau entre les grains de sable puisse équilibrer le poids des galets. La perméabilité d'un tel mélange est alors celle des sables. Le même raisonnement est valable pour un mélange de galets et de boue « rigide ». Les vases sont formées de sable, de poudre minérale et de grains colloïdaux qui assurent les liaisons. Elles ont les propriétés apparentes de précolloïdes comme les argiles, avec lesquelles elles ont été longtemps confondues. Le problème est donc expérimental : à partir de quelle teneur en poudre et en colloïdes, un sable peut-il être considéré comme un sable vaseux ?

1. La Marge continentale... *B.S.G.F.* (5), VIII, p. 493-474, 1938.

2. Essai de définition des vases d'estuaire. *CR. Ac. Sc.*, 209, p. 542-544, 1939.

De tels problèmes se retrouvent dans l'étude du béton, qui est également un système à trois phases.

La différence de rôle de chaque phase est évidente dans le cas des transports des blocs et des galets par les courants de boue, les « laves ». Celles-ci sont de véritables liquides visqueux et denses, aptes par conséquent à transporter en flottaison des matériaux volumineux ou lourds. Un coulis de boue ou de ciment percole à travers des galets comme s'il était un liquide homogène ; les applications techniques de ce fait sont nombreuses : injections d'étanchéification, boues lourdes des forages.

L'analyse d'un ensemble déterminé comprend donc, en premier lieu, la séparation de ses phases constituantes et leur étude séparée. J'ai montré que l'histoire de chacune de ces phases peut avoir été très différente¹ : Nous sommes donc fondés à donner comme dénomination à un ensemble de plusieurs phases, en premier lieu, celle qui impose ses propriétés, en ajoutant le nom de la phase secondaire : par exemple, *vase sableuse* et *sable vaseux*.

Agrégats. Une objection principale à la définition des matériaux meubles par l'analyse granulométrique est l'existence dans ces ensembles d'*agrégats*, c'est-à-dire de grains formés eux-mêmes d'un ensemble de grains plus petit. Un matériau, comme les « limons des plateaux » du Bassin Parisien qui, dispersé, a la composition granulométrique des vases ou des limons, présente vis-à-vis de l'eau une perméabilité de sable fin. Celle-ci est due à l'existence d'agrégats. La constitution intime de chaque agrégat a moins d'importance que les dimensions de l'agrégat lui-même. De nombreuses argiles, si elles ne sont pas dispersées, ont une granulométrie et les propriétés de poudres² ; les corpuscules qui forment le liant des boues sont, en général, visibles au microscope et présentent des mouvements browniens. Or ils sont essentiellement formés d'hydroxydes de fer dont les micelles ne peuvent être aperçues qu'à l'ultramicroscope.

Cette constitution en agrégats est celle de tous les sols cultivables, tant que leur structure n'a pas été détruite par des actions mécaniques, de brusques pluies d'orage ou le gel. C'est elle qui permet la pénétration facile des eaux et des gaz, la croissance des racines, en un mot conditionne l'ensemble des propriétés agronomiques du sol.

La structure propre des vases et des écumes (structure en mailles) conditionne aussi leurs propriétés de déformation par la

1. La Marge continentale, *op. cit.*

2. Par exemple, les argiles smectiques de Camp Berteaux. J. Stiny cite aussi le cas d'un sol argileux bouillant du flysch de Vienne, *op. cit.*

pression. Mais souvent ces structures doivent être *déduites* des propriétés à cause de la très grande difficulté d'y exécuter des coupes minces sans les modifier.

PROPRIÉTÉS DES DIVERSES CLASSES DIMENSIONNELLES DE GRAINS

Dans le but de légitimer les principales coupures de notre classification, nous étudierons successivement :

1^o les conditions de transport et de sédimentation des ensembles meubles ;

2^o leur comportement vis-à-vis des eaux qui peuvent les pénétrer (percolation et filtration).

I. — TRANSPORT DES PARTICULES SUIVANT LEUR DIMENSION.

Il y a lieu d'examiner séparément : A, le transport des particules sous l'effet de la seule pesanteur, aidée ou non d'actions adjuvantes, B, le transport par des courants d'eau et d'air.

Bien des remarques qui seront faites à propos du transport par la seule gravité, s'appliquent au transport par les courants.

A. Mouvement des ensembles de particules sous l'action de la seule pesanteur.

La descente des particules peut se faire soit librement, chaque grain descendant en tant qu'individu, on dit alors qu'il y a *éboulis* (a), ou sans que la cohésion de l'ensemble soit rompue. Dans ce cas, il faut distinguer les écroulements brusques, presque instantanés, de tout un paquet : *éboulements* (b) ou sa descente lente, presque imperceptible : *solifluxion* (c).

a) *Éboulis*. Des fragments ont été détachés par la désagrégation d'une roche cohérente, soit par dilatation sous l'effet des variations thermiques, du gel ou du dégel, soit par la pression de cristallisation des sels venant de la surface ou de la profondeur, enfin sous l'action des racines de végétaux. Sur une surface horizontale, ils restent en place, constituant ce que l'on appelle un sol. Si, au contraire, la particule se trouve placée sur une pente, elle est sollicitée par la pesanteur. Une des deux composantes de son poids est dirigée suivant la pente du terrain ; elle a pour effet d'entraîner la particule vers le bas. L'autre,

perpendiculaire à la surface du sol, a comme résultat d'appliquer la particule sur cette surface. L'équation d'équilibre est $P \sin \beta = u P \cos \beta$, u étant le coefficient de frottement ; par conséquent $u = \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \operatorname{tg} \beta$ (fig. 4).

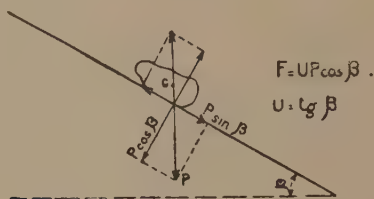


Fig. 4.

Le coefficient u est nul si la pente est infiniment lisse, si la particule est parfaitement sphérique et indéformable sous son propre poids ; ces conditions ne sont jamais réalisées dans la nature. Le frottement pourra donc absorber tout ou partie de l'énergie cinétique de la particule et, par conséquent, soit la freiner, soit l'arrêter. Il est encore augmenté du fait que les particules ont, en général, des formes parallélipédiques et, en conséquence, une large surface de contact avec la pente.

Il semble que le frottement, compensant l'accélération de la pesanteur, devrait tendre à rendre le mouvement uniforme à partir d'une certaine distance de parcours, comme c'est le cas pour la chute d'une particule au sein d'un liquide. Or il n'en est pas ainsi. Les phénomènes dynamiques qui se produisent dans la descente d'un éboulis ne sont pas des frottements simples : la perte de l'énergie cinétique de la particule provient surtout de *chocs*. Les aspérités de la paroi sont de trois ordres différents : 1° celles dont les dimensions sont petites par rapport à celles de la particule en mouvement ; 2° celles dont les dimensions sont grandes par rapport à celles-ci ; 3° celles qui sont dues aux matériaux de la partie, temporairement arrêtée, de l'éboulis.

Dans le premier cas, une partie de l'énergie cinétique est transformée comme dans le frottement simple en chaleur, une partie absorbée par la déformation, élastique d'abord, puis plastique ou par la rupture ou l'écrasement de l'aspérité.

Dans le second cas, ce sont les déformations élastiques de l'aspérité qui prédominent, et la particule sera déviée ou arrêtée.

Dans le troisième cas, si la particule en mouvement rencontre une particule libre arrêtée, elle lui communique une partie de

son énergie cinétique, comme c'est le cas dans le choc entre billes de billard.

Le frottement simple ne dépend que de la vitesse de la particule (fonction de sa masse) et des dimensions de la surface de contact. Pour des particules sphériques, dont la trajectoire est une simple ligne, le frottement de l'air négligé, il ne devrait y avoir aucune différence de vitesse entre des grandes ou des petites particules. Dans le cas de cubes, l'augmentation de la surface relative avec la petitesse augmente déjà le frottement ; mais, en outre, par suite des dissipations d'énergie par chocs, les particules de grande masse et de grande énergie cinétique sont les seules à pouvoir parcourir toute la pente en surmontant les résistances des aspérités, le plus souvent par sauts successifs. Les plus petites, en revanche, s'accumuleront dans les creux ou à l'abri des aspérités, ou même pénétreront dans les vides entre celles qui sont arrêtées. Ces fines particules auront tendance aussi, comme nous le verrons, à être fixées entre elles par l'eau qui pourra les pénétrer. Toute la masse pourra ainsi devenir *cohérente*, si les eaux de percolation ne réussissent pas à la dégager des petites particules. C'est par un mécanisme analogue que les éboulis sont fixés par la végétation.

Le trajet des grandes particules est donc plus long que celui des petites et la pente d'équilibre des éboulis est d'autant plus faible que les matériaux sont plus grossiers ¹. Cette influence de la dimension des particules sur leur pente d'équilibre est exprimée dans la formule aide-mémoire de Thoulet :

à égalité de vitesse initiale (de chute libre par exemple), l'angle du talus naturel des matériaux meubles :

$$\alpha = \frac{\delta \cdot (\delta - \delta') \cdot c \cdot r}{\delta' \cdot s \cdot a \cdot d}$$

δ étant la densité du matériau, δ' celle du milieu où se fait le dépôt (air ou eau), c sa cohérence, r le degré de tassement,

1. Une conséquence de ce comportement des éboulis est l'augmentation de leur calibre moyen vers le bas. La courbe de l'éboulis a une allure hyperbolique, concave vers le ciel ; la branche tangente à l'horizontale de l'hyperbole étant d'autant plus étendue qu'il y a eu plus de matériaux grossiers. Il ne se produit de véritables cônes que quand l'éboulis est contenu dans une coulrière préformée. A l'extrémité de celle-ci, les matériaux sont alors projetés dans toutes les directions.

La preuve de l'importance des chocs dans la mécanique des éboulis se trouve dans la grande quantité de poussière qui les accompagne. Ceux de la zone tempérée en sont en général débarrassés par les eaux qui y circulent. Il n'en est pas de même dans les régions méditerranéennes, Levant, Afrique du Nord, où ils sont toujours poussiéreux.

s l'indice de sphéricité, a l'agitation du milieu, d la dimension linéaire du matériau.

b) Éboulements. Les éboulements ou écroulements en masse proviennent d'une rupture d'équilibre entre les forces de *cohérence* ou d'*adhésion* à la paroi et la pesanteur. L'exemple typique d'éboulements par rupture de la cohérence est celui qui se produit dans les sables d'une dune ou d'une carrière, liés entre eux par la pellicule d'eau fixée (eau hygroscopique de Diénert), quand cette pellicule vient à s'évaporer.

La pente naturelle des produits meubles d'au moins deux millimètres de diamètre est, en effet, la même qu'ils soient secs ou mouillés. Dans ce cas, la presque totalité de l'eau traverse l'ensemble et le parcours jusqu'au bas où elle le quitte en formant une source (source de pied d'éboulis, par exemple). Il en est tout autrement dans le cas des sables (< 2 mm.) et des poudres ($< 0,02$ mm.). Si l'on mouille, avec précaution, les sables, l'eau pénètre dans les interstices entre les grains et en chasse en partie l'air. Si on y ouvre alors une tranchée, les parois en restent verticales. Le dessèchement y produit ensuite des éboulements par tranches. Nous avons ainsi mis en évidence une *cohérence* du matériau meuble ; celle-ci est due à l'*adhésion* des grains l'un contre l'autre *par l'intermédiaire de la lame liquide qui les sépare*. L'expérience est celle du pâté de sable des enfants. Les grains qui forment un massif de sable sec sont en équilibre quand la contrainte normale N et la contrainte tangentielle T qui s'exercent sur les grains, sont liées par l'inéquation de Coulomb $T \leq N \operatorname{tg} \varphi$, φ étant l'angle de « frottement apparent ». L'équilibre limite est atteint quand $T = N \operatorname{tg} \varphi$. Dans le cas où une adhésion existe entre les grains, l'équation d'équilibre devient $T \leq N \operatorname{tg} \varphi + C$, C étant la valeur de la cohésion. Il faut donc d'abord produire une force tangentielle supérieure à C avant que l'équilibre ne se rompe.

La cohésion est maxima quand l'épaisseur de la lame d'eau entre les grains est minima. On peut donc fixer pour chaque matériau, par un test expérimental déterminé : 1° une *limite inférieure d'adhésion*, 2° un *optimum d'imprégnation* correspondant à deux teneurs en eau déterminées. Un excès d'eau abaissera, par contre, la cohésion jusqu'au moment où le sable deviendra *boulant*, c'est-à-dire un véritable liquide, d'allure visqueuse. Dans ce cas, n'importe quelle pression déterminera l'écoulement. Un second seuil sera ainsi défini, la *limite supérieure d'adhésion* ou *limite de liquidité*.

L'eau adhère d'abord à la surface des grains parfaitement secs en formant une première couche, très fortement liée, la *couche d'adsorption*. Autour de cette couche se trouvent une ou plusieurs enveloppes concentriques fixées les unes sur les autres (fig. 5). La dimension de ces pellicules d'eau fixée (eau hygroscopique de Diénert) est d'après les calculs de Houwinck¹ égale à $10^3 \text{ \AA}$ ou $0,1 \mu$, soit $0,2 \mu$ entre les grains. C'est par l'intermédiaire de cette couche que les grains sont attirés les uns contre les autres d'autant plus que la pellicule est plus mince. Cette attraction ne peut vaincre la composante tangentielle du poids des grains — et par conséquent, s'opposer à l'éboulement du matériau — *que si ceux-ci, supposés sphériques et de quartz, ont une dimension inférieure à 2 mm.* Au-dessus de cette dimension les grains s'éboulent. Il n'est donc possible de réussir un « pâte de sable » qu'avec un matériau granulaire dont les dimensions de grains sont inférieures à 2 mm. Nous trouvons donc ici une première définition des sables. Si les grains sont anguleux et engrenés l'un dans l'autre, s'ils sont formés de lamelles plates, la limite est légèrement plus élevée et peut se rapprocher de 3 mm.

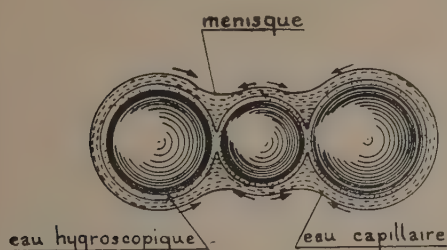


Fig. 5. — Enveloppes successives autour des grains de sable, d'après F. ZUNKER. Das Verhalten des Bodens zu Wasser: Handbuch d. Bodenlehre VI, Berlin, J. Springer 1930.

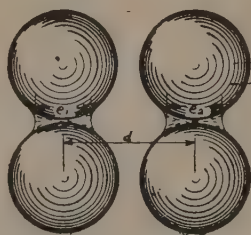


Fig. 6. — Diminution de la dimension des pores, sous l'effet de l'attraction capillaire, dans le sable humide, d maximum de largeur d'un pore e_1 , e_2 diamètre du ménisque intergrain (d'après ZUNKER, *op. cit.*).

Mrazec a montré, par une expérience très simple, que le sable juste assez mouillé occupe un moindre volume que le sable sec (fig. 6). A l'optimum d'imprégnation, les interstices entre les grains renferment encore de l'air emprisonné.

Si l'on augmente la quantité d'eau d'imprégnation, celle-ci pénètre d'abord dans l'intervalle conique qui sépare les grains, en formant des ménisques qui tendent alors à se déplacer vers la

1. HOUVINCK. Plasticity. Londres, Macmillan.

pointe des cônes (fig. 7) et à séparer par conséquent un grain de l'autre. La tension entre les grains va donc en diminuant jusqu'à leur libération complète (*limite de liquidité*). Il est évident que cette tension dépend du rapport entre le poids des grains (fonction du volume et de r^3) et de la surface de contact (qui dépend de la surface totale, de r^2). Plus les particules sont petites (et leur surface relative grande), plus leur cohésion est grande ¹.

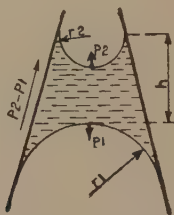


Fig. 7. — Mouvement d'une goutte dans un capillaire conique :

r^1, r^2 , rayons de courbure du ménisque

P_1, P_2 , pression capillaire d'après ZUNKER (op. cit.).

L'importance du rapport entre la surface et le poids des particules a fait introduire la notion de *surface spécifique* (Zun-

ker) $U = \frac{1}{de} = \frac{g_1}{d_1} = \frac{g_2}{d_2} = \frac{g_3}{d_3} \dots \frac{g_n}{d_n}$ g_1, g_2, g_3 représentant les poids des particules des diamètres $d_1, d_2, d_3 \dots$ etc. d_e le diamètre effectif (celui d'un sable uniforme (monodispersé) de même surface totale). La surface réelle S est liée à la surface spécifique U par la relation $U^{mm^2} g^{-1} = \frac{S_z}{60}$ z étant le poids spécifique du matériau.

1. Presque toutes les actions qui s'exercent sur les matériaux sont surtout des actions de surface : adsorption, capillarité, électrisation de contact, réactions chimiques diverses. Il est donc important de se souvenir de la rapidité avec laquelle la surface totale des particules ou les rapports $\frac{S_t}{V}$ ou $\frac{S_t}{p}$ au volume ou au poids global augmentent avec leur degré de fragmentation, de dispersion. Les calculs suivants de Wo. Ostwald sont classiques. Si l'on fragmente un cube de 10 mm de côté en cubes d'arête 10 fois plus petite, on obtient les chiffres suivants :

LONGUEUR DU CÔTÉ EN MM.	NOMBRE DE CUBES	SURFACE D'UN CUBE EN MM ²	SURFACE TOTALE EN MM ²	POIDS DANS LE CAS DE QUARTZ
10	1	600	600	gt. 2,7
1.	10 ³	6	6.000	
0,1	10 ⁶	0,06	60.000	
0,01	10 ⁹	0,0006	600.000	
0,001 = 1 μ	10 ¹²	6.10 ⁻⁶	6.10 ⁶	
0,000,1	10 ¹⁵	6.10 ⁻⁹	6.10 ⁷	
0,000,01	10 ¹⁸	6.10 ⁻¹²	6.10 ⁸	
0,000,001 = 1 $\mu\mu$	10 ²¹	6.10 ⁻¹⁵	6.10 ⁹	

La surface totale d'un système dispersé est donc inversement proportionnelle à la grandeur linéaire des particules si celles-ci conservent la même forme.

L'adhésion des plus grandes particules peut être obtenue par d'autres liquides que l'eau : par des liquides rigides comme le brai, l'asphalte, la gélatine ou encore par des suspensions concentrées de poudres : des *boues*.

Dans ce dernier cas, l'espace entre les gros grains est alors rempli par la suspension de petits grains. Il est possible de réaliser ce remplissage par des grains de plusieurs dimensions, sable, boues, colloïdes, en sorte que les espaces entre les grains soient très petits et les points de contact très nombreux. L'adhésion maxima, et aussi la densité maxima du matériau, est alors réalisée. Ce procédé est utilisé dans la création de « routes consolidées », entièrement faites avec les produits du sol local, sans fondations et sans empierrement.

L'intervalle entre les limites inférieure d'adhésion et de liquidité est très petit dans le cas des sables ; un afflux d'eau tant soit peu important cause alors la destruction des liaisons et le rapide écoulement de la matière.

Quand le rapport de la surface de contact au poids des grains augmente, il faut beaucoup plus d'eau intersticielle pour vaincre les liaisons. Des empilements plus lâches peuvent exister et par conséquent, l'intervalle entre la limite d'adhésion et la limite de liquidité augmente beaucoup.

Si l'on mesure ces deux limites d'après la méthode d'Atterberg, utilisable à partir de la dimension des poudres (0,02 mm.), l'intervalle entre ces deux limites est appelé *indice de plasticité* et la limite inférieure, *limite de plasticité*. Il est nécessaire de préciser cette notion de « plasticité » qui s'introduit donc dès les ensembles de la dimension des poudres. On appelle généralement plasticité, l'aptitude d'un *solide* à rester déformé *définitivement* quand la contrainte qu'il subissait a cessé de s'exercer, et ceci sans rupture de continuité. Des argiles, suffisamment imprégnées d'eau, deviennent ainsi plastiques ; elles peuvent se pétrir, se mouler, etc. Mais ni les argiles ni les boues, ne forment des ensembles continus, de véritables solides. La propriété des poudres et des précolloïdes de former avec de l'eau des ensembles continus et déformables, est due au fait que des liaisons résistantes existent entre les grains, mais avec formation de structures en mailles. Sous l'influence des efforts de cisaillement, la matière peut donc se déformer sans rupture entre les liaisons. Il y a alors diminution du volume des vides avec tout d'abord expulsion de l'air. Puis l'eau est lentement expulsée. La déformation générale des mailles est à peu près celle des assemblages en parallélogrammes.

Sous l'effet d'une compression, graviers, sables se tassent rapidement en formant des voûtes (fig. 8) ; ces assemblages en voûte présentent alors, jusqu'à rupture, une résistance élastique vis-à-vis de la pres-

sion. La limite d'élasticité dépassée, les ruptures ne se font pas toujours suivant les zones de contact ou de coincement, mais souvent au travers d'un grain. Il en résulte que les sables ne se tassent pas sous le poids d'une construction qui n'atteint jamais la limite de rupture.

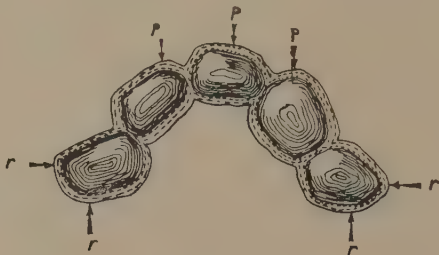
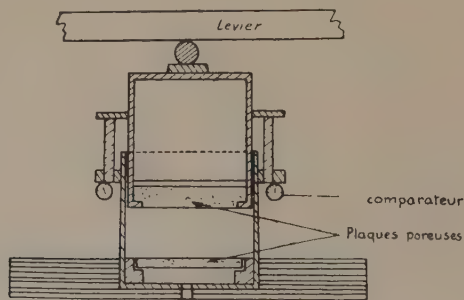


Fig. 8. — D'après ZUNKER (*op. cit.*), p, pression, r, résistance.

Dans le cas des poudres et des précolloïdes, le tassement se ferait d'une façon analogue, s'ils n'étaient en présence d'eau disposés le plus souvent en forme de mailles (boues et argiles). Les phénomènes deviennent analogues à ceux qui se passent sous l'effet d'une force de cisaillement (distorsion). L'air, puis l'eau, sont lentement excrétés. On peut alors passer d'assemblages très lâches où une sphère touche 4 autres (indice des vides 66 % d'après Manegold, Hofman et Solf) à des assemblages serrés où une sphère en touche 16 autres (indice des vides théorique 26 %).



ŒDOMÈTRE

Fig. 9.

Ici une importante différence sépare les poudres ($< 0,02$ mm. $> 0,001$ mm.) des précolloïdes ($< 0,001$ mm.) : la déformation, dans le cas des poudres assemblées en mailles avec de l'eau, est *irréversible* ; dans le cas des précolloïdes, elle est, jusqu'à une certaine limite, élastique, dans le sens où ce mot est employé pour la déformation du caoutchouc. Placées dans un corps de pompe dont la base est une pierre poreuse (œdomètre de Terzaghi) (fig. 9) et comprimées par un piston dont la partie supérieure est également une pierre poreuse,

les unes et les autres en communication avec un récipient ouvert plein d'eau, les argiles se compriment en laissant exsuder de l'eau. L'exsudation se fait, suivant Terzaghi, par la partie supérieure, parallèlement à l'effort de compression. Après cessation de l'effort, l'eau reprend sa place dans les vides de l'argile et revient presque à son point de départ. Le diagramme de compressibilité obtenu en portant l'indice des vides ϵ pour chaque taux de compression ou de décompression en ordonnées, la valeur de la tension en abscisses, est analogue à celui obtenu pour le caoutchouc. La courbe de compression est convexe vers le haut, celle de décompression vers le bas, la surface comprise entre les deux représente le *travail absorbé* dans la déformation (fig. 10).

L'explication de cette élasticité d'ensemble des argiles dans une certaine limite de déformation se trouve dans une théorie peu connue de Zunker ¹ :

La majorité des particules des ensembles précolloïdaux, des argiles par exemple, est de l'ordre de dimension du μ . Ces particules sont donc soumises aux *mouvements browniens*. Elles s'a-

gent dans toutes directions autour d'une certaine position moyenne. La moindre pression dirigée aura pour effet de les déplacer dans son

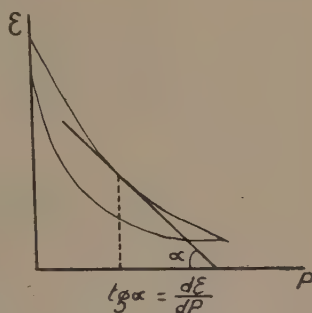


Fig. 10. — Σ , indice des vides.
P, pression.

sens (fig. 11). Elles se rapprochent donc beaucoup les unes des autres et l'adhésion devient de plus forte. Il se forme ainsi des files de particules alignées dans le sens de la pression.

Entre deux files, les liaisons au contraire sont lâches. On dit qu'il y a alors *consolidation* des argiles. Celles-ci deviennent donc comparables à un solide traversé par de fins tubes allongés dans le sens de la pression et, par conséquent, quand il s'agit du poids des couches ou des constructions, vers la verticale. Ainsi s'explique l'hypothèse de Terzaghi

d'une excrétion de l'eau dirigée vers le haut.

Si la pression s'exerce jusqu'à des contacts *directs* entre grains, l'élasticité disparaît et l'argile devient une roche compacte à structure

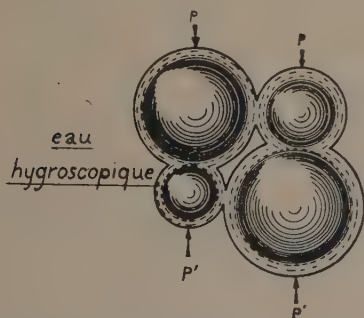


Fig. 11. — Diminution de la lame d'eau hygroscopique et augmentation de l'adhésion entre les grains sous l'effet d'une pression dirigée (d'après ZUNKER, op. cit.).

1. *Handbuch der Bodenlehre*, VI, p. 89.

schisteuse. On trouvera donc à la déformation une limite que j'appellerai *limite de lapidification*. Ce phénomène, dont l'importance géologique est très grande, ne se produit pas pour les matériaux de la classe des poudres, où il y a simplement rupture des grains et transformation en une poudre plus fine.

On se rend compte du parti que l'on peut tirer de ces vues dans l'étude des déformations des argiles sous l'effet des tensions de l'orogénèse.

Le dessèchement a le même effet que la pression, l'épaisseur de la couche d'eau fixée se réduit, si cette réduction ne dépasse pas les limites de la couche d'adsorption, les argiles peuvent à nouveau gonfler, et non les poudres. La valeur de ce gonflement, ou du retrait, dépend aussi des ions adsorbés. Si la perte d'eau atteint la couche d'adsorption, la déformation peut être irréversible, comme dans le cas des poudres.

Il est rare, dans la nature, que l'action de pressions dirigées ne se superpose pas aux effets du dessèchement, en les augmentant considérablement.

Les structures lâches, en mailles, peuvent se produire dans l'empilement des matériaux grossiers, cailloux et sables, mais elles seront très instables, dues seulement au frottement réciproque des grains ou à leur coincement. Des liaisons résistantes ne semblent se produire qu'à partir de la dimension supérieure des poudres (0,02 mm.).

Si l'on produit des structures lâches, en versant, par exemple, lentement dans un récipient d'eau une grande quantité d'un matériau meuble, puis en laissant se tasser la boue ainsi obtenue, on constate que le dépôt se fait avec un indice des vides ϵ_a qui est caractéristique d'une dimension et d'une forme déterminée de matériau. Cet indice des vides diminue, pour les sables, avec la dimension du grain. Par agitations successives, et qui doivent être d'autant plus répétées que le grain est plus fin, on obtient un autre indice des vides ϵ_a caractéristique du matériau¹. A partir de 0,02 mm. environ, l'indice des vides augmente au contraire avec la finesse du grain. Il se produit, en outre, un très curieux phénomène qui démontre la solidité des liaisons entre grains². Si on incline le vase, après l'avoir laissé un certain temps au repos, la surface de séparation ne se rétablit plus à l'horizontale. La boue est devenue rigide. Une agitation, qui produit un certain effort de cisaillement détruit cette rigidité et la boue devient à nouveau un liquide visqueux. Abandonnée au

1. Les expériences ont été exécutées par mon élève V. Romanovsky.

2. Jacques BOURCART. *CR. Ac. Sc.*, 242, p. 651-653, 1941.

repos, elle redevient rigide et ainsi de suite, mais toujours avec une certaine excretion d'eau et diminution de l'indice des vides jusqu'à ce que l'indice minimum soit atteint.

Nous voyons ici apparaître une très curieuse propriété qui a surtout été étudiée par Freundlich, la *thixotropie*. Freundlich l'a constatée surtout sur des argiles, la bentonite chargée d'ions alcalins par exemple, mais aussi dans le cas de peintures, de gélatine, etc. et même des particules calcaires comme celles qui forment les célèbres calcaires de Solenhoffen. Il n'y a pas lieu d'insister sur tout l'intérêt que présente une pareille propriété pour expliquer la fossilisation quasi instantanée de traces ou de pistes, d'organes très altérables ou la formation de certains *hard grounds*.

La possibilité de constituer des structures rigides, véritables *macrogels*, est encore augmentée par un mélange des poudres avec des grains de la dimension des précolloïdes ou des micelles colloïdales. Dans le cas des boues ou des vases, ce sont les grains de sels de l'acide humique, d'hydroxydes de fer, de fines poudres calcaires, ou de minéraux de l'argile, par exemple, c'est-à-dire de toutes les substances qui permettent la formation des *écumes*.

Le degré de rigidité des structures thixotropiques est mesurable et paraît, jusqu'ici, caractéristique d'un matériau déterminé. Il semble qu'il en soit de même du temps de prise (*Erstarrungszeit* de Freundlich). On voit tout le parti que l'on pourra tirer de l'étude de ce phénomène pour la connaissance des coulis de ciment qui, jusqu'à transformation chimique, sont pour Freysinet, des ensembles : poudres + colloïdes.

Bien que l'on ait constaté la thixotropie dans le cas d'argiles, comme la bentonite (mais en présence d'ions alcalins), il semble qu'elle soit une propriété essentielle des ensembles de la dimension des poudres (ou des agrégats de cette dimension). Une très élégante expérience de Buzagh semble en donner la raison :

Si l'on prend un tube cylindrique de quartz, fermé aux deux extrémités par deux lamelles couvre-objet de quartz, qu'on le remplisse d'une suspension peu concentrée de quartz et qu'on laisse celle-ci déposer un certain temps, après retournement du tube, on constate que le rapport entre le nombre des particules déposées avant le retournement et de celles restées adhérentes après, dépend de la dimension des grains. Il est maximum quand cette dimension est comprise entre $20\ \mu$ et $5\ \mu$. Au-dessus de $50\ \mu$ et en dessous de $1\ \mu$, il devient très petit. De plus, quel que soit le temps de dépôt et le temps après retournement, le

nombre des particules restées adhérentes est voisin de 99 % dans l'intervalle de dimensions 20μ - 1μ . Le peu de chances d'adhésion des particules inférieures à 1μ proviendrait, d'après Buzàgh, du fait qu'elles sont soumises aux mouvements browniens.

Les phénomènes de thixotropie permettent donc de séparer les sables des poudres et les poudres des précolloïdes sans charge ionique. Nous avons vu plus haut que l'apparition des mouvements browniens, prise comme limite des précolloïdes, permet de les séparer des poudres par l'apparition des phénomènes de *consolidation*.

La cohérence des liaisons obtenues par l'intermédiaire d'un mélange des poudres avec des précolloïdes et des colloïdes se conserve après dessèchement. Elle a une très grande importance dans la nature, car elle permet la stabilité des agrégats qui forment les sols. Quand ces agrégats sont liés par une lame mince d'eau, l'ensemble devient plastique.

c) *Solifluxion*. Si une pareille masse plastique est soumise à des alternatives de gonflement et de retrait sous l'influence des eaux d'imprégnation, du gel et du dégel, chaque agrégat deviendra mobile dans toutes directions, mais la pesanteur agissant constamment dirigera le mouvement final vers le bas de la pente. Ainsi se produisent des mouvements lents des sols auxquels les Américains donnent le nom de *creep*¹. Ces mouvements sont très reconnaissables à l'émiettement en touffes du gazon qu'ils produisent. Particulièrement importants dans les zones arctiques (où ils ont été d'abord décrits sous le nom de solifluxion par Anderson), ils jouent un rôle non moins grand dans les pays méditerranéens à grande variations hygrométriques. Le nom que leur a donné Anderson mérite d'être généralisé sous sa forme française².

Ces mouvements atteignent au Maroc des valeurs de 10 à 20 cm. par mois dans les limons de pentes.

Dans les mouvements normaux de solifluxion, la vitesse de l'écoulement au contact avec la roche du sous-sol est, au contraire, à peu près nulle, elle augmente à mesure que l'on se rapproche de la surface.

Un excès d'eau d'imbibition, dans certaines conditions, détermine la transformation du sol d'agrégats en boue visqueuse, particulièrement à son contact avec la pente (couche savon). Il se produit alors

1. Cf. H. BAULIG. Ce profil d'équilibre des versants. *Ann. de Géogr.*, XLIX, 278-279. 1940, p. 81-99.

2. L'importance de la solifluxion comme phénomène général a été reconnu par Louis GENTIL. Le phénomène de la solifluxion et la genèse des rideaux (*CR. Ac. Sc.*, 167, p. 440) et par son école, avant les travaux connus des géologues de l'Ouest de la France ou de H. BREUIL.

des glissements brusques en paquets (« rideaux » de Picardie, marches-à-vaches » ou, avec plus d'ampleur, *frane* de l'Apennin).

Éboulements et solifluxion ne se traduisent que pour des ensembles cohérents, dont le constituant prédominant est une poudre ; ils ne se font ni dans les sables, où l'on passe brusquement de la cohérence à la liquidité, ni dans les argiles, si celles-ci n'ont pas une structure en agrégats. En effet, l'exsudation ou la pénétration des eaux est trop lente dans le cas des argiles pour que les mouvements de dilatation et de retrait puissent se produire dans l'espace trop court des variations météorologiques.

B. Mouvements des différentes catégories de particules sous l'effet des courants.

Nous avons vu que les diverses classes de particules : cailloux, sables, poudres et précolloïdes se comportent différemment quand elles sont soumises à l'action de la pesanteur en présence d'eau. Il en est de même, quand elles le sont à celle des *courants* d'air ou d'eau. Les phénomènes d'adhésion, en rapport avec la pesanteur, servent également de différenciation dans les comportements de chaque classe de matériaux.

Les ensembles meubles ne restent pas, le plus souvent, en équilibre sur les pentes pour former des revêtements longtemps stables. Celles-ci sont soumises au ruissellement. Le pied des éboulis, des éboulements, et des terrains en solifluxion vient, en outre, le plus souvent en contact, permanent ou temporaire, avec un courant de transport : glacier, fleuve, courant marin ; dans les régions désertiques, les revêtements des pentes sont ravagés par les courants éoliens qui, si leur cohérence n'est pas très grande, peuvent les éroder¹.

Le glacier, solide plastique en mouvement, est le seul agent de transport capable de convoyer des fragments de n'importe quelle dimension, allant du bloc de rocher à la poussière la plus fine. Dans tous les autres courants fluides, les particules se comportent d'une façon différente suivant :

- a) leur densité relative à celle du fluide en mouvement.
- b) leur surface projective par rapport à la direction du flux.

Par suite des lois géométriques liant la variation de la surface à celle du volume, et par conséquent de la masse, nous retrouvons

1. Jacques BOURCART. L'action du vent à la surface de la terre. *Revue géogr. phys. et géol. dyn.*, I, 1 et 2.

rons ici, avec une égale importance, la notion de *surface spécifique* dont il a été parlé plus haut (p. 136). Comme il s'agit d'un flux, la forme des particules et les orientations qu'elles peuvent prendre, ont également une très grande importance. Il n'en sera pas parlé ici : toutes les observations ou expériences rapportées se réfèrent à un matériel à peu près uniforme et composé de grains de quartz de forme sensiblement cubique. Quelle que soit la forme du matériel, il semble d'ailleurs toujours possible de trouver un matériel sphérique équivalent.

L'action des courants sur les particules est toujours une pression exercée sur leur surface projective. A l'exception de la densité du fluide qui introduit la notion de *masse effective* des particules et des variations de sa viscosité, il n'y a aucune différence essentielle entre les courants d'eau (fluviaux, marins) et les courants d'air. Depuis longtemps, on transporte les résultats des expériences dynamiques d'un domaine dans l'autre.

Les conditions expérimentales les plus simples sont réalisées quand :

1° le matériel transporté est uniquement enlevé (érodé) par le courant de son lit. Ceci est toujours vrai pour les courants de vent qui ne reçoivent pas d'affluents, beaucoup moins pour les courants marins et encore moins pour les courants fluviaux où l'apport de débit liquide et solide est de règle par les affluents.

2° l'énergie cinétique disponible pour le transport des particules varie d'une façon continue de l'origine du courant à sa terminaison.

3° l'énergie disponible, dans une section droite déterminée du courant, est invariable avec le temps (vitesse et débit constant).

4° le courant n'a aucune action d'usure sur les particules qui n'ont pas non plus d'interactions réciproques.

Ces conditions ont été à peu près réalisées dans les expériences classiques de Gilbert, Owen, etc. Dans toutes celles-ci, le mouvement du fluide était supposé *laminaire*, c'est-à-dire que son écoulement se serait fait par filets parallèles et de vitesse décroissante vers le fond et vers les rives (périmètre mouillé). En outre, *elles ont été réalisées avec de petits galets (granules) ou avec du sable*. Dans ces expériences, comme dans la nature, le transport des particules se faisait suivant deux modes (ou des modes intermédiaires qui ne sont qu'une combinaison des deux premiers) : soit sur le fond, *par roulement* ou glissement, soit dans toute la masse du courant, *en suspension*. Quand une particule est introduite dans la masse du fluide, trois cas peuvent se produire : 1° elle y reste en suspension et se déplace avec le courant ; 2° elle tombe au fond (se sédimente), mais est encore soumise à l'entraînement par les filets (qui n'auraient pas une vitesse nulle au fond) ; 3° elle reste immobile sur le fond.

Deux vitesses critiques sont donc à envisager pour une particule déterminée :

- 1) *vitesse limite de transport en suspension.*
- 2) *vitesse limite de transport sur le fond.*

Auxquelles il faut ajouter, pour des motifs complexes qui tiennent à l'inertie de la particule, à son coincement dans le sédiment ou à son adhésion à d'autres particules, une troisième vitesse, intermédiaire entre les deux précédentes :

- 3) *vitesse limite de mobilisation* (ou d'érosion).

Il est facile de montrer que, pour des particules de même nature (quartz, par exemple) et de même forme, il existe pour une vitesse déterminée, des dimensions-limites suivant lesquelles la particule 1° peut rester en suspension dans le fluide; 2° tombe sur le fond, mais est toujours entraînée par le courant, 3° reste définitivement en place. Ainsi un courant, à variation de vitesse continue dans le sens de la diminution, transporterait d'abord les particules d'une certaine dimension en suspension, puis par traction sur le fond, enfin, celles-ci resteraient stationnaires. Les vitesses des courants fluviaux diminuant de la source vers l'embouchure, la dimension des particules déposées diminuerait, de même, d'une façon continue. Pour les courants marins ou éoliens, il en serait à peu près ainsi.

Pour un courant ainsi défini, on peut déterminer : 1° sa *puissance* (*competency*), c'est-à-dire sa possibilité de transporter au plus des particules d'une dimension déterminée; 2° sa *capacité*, c'est-à-dire la masse de particules d'une certaine dimension qu'il peut charrier; 3° sa *charge*, c'est-à-dire le rapport entre le débit solide convoyé et le débit liquide. La capacité est la charge maxima.

Les conditions 1, 2, 3, 4, n'existent pas pour les fleuves qui reçoivent le long de leur cours des matériaux provenant des affluents ou des transports par la pesanteur, 2° ont une variation de puissance discontinue le long de leur parcours, par suite d'apport de débit liquide par les affluents et les sources, 3° ont un régime variable dans le temps pour une section déterminée (crues ou décrues), 4° exercent sur les matériaux transportés, et ceci d'une manière différente suivant leur dimension, une action manifeste d'usure : par abrasion, chocs ou dissolution. Le résultat de ces variations ne change pas fondamentalement les règles régissant la sédimentation des particules, mais conduit à une certaine polydispersion des matériaux déposés.

La conclusion générale des Traités est donc que les matériaux grossiers sont convoyés en suspension dans le cours supérieur, torrentiel, puis transportés par roulage et sédimentés, que c'est ensuite le cas des sables, puis des « argiles » ou vases qui ne se déposent qu'au voisinage des embouchures ou atteignent la mer. Ces différents sédiments proviendraient de l'usure progressive des premiers. La dernière proposition est inexacte : la majorité des grains de sable ne provient pas de l'usure des galets, ni les

particules de la vase de l'usure des grains de sable. Quant à la première proposition, elle souffre bien des exceptions : Des dépôts importants, longtemps stables, comprenant du sable et des poudres, se font tout du long du courant ; le comportement des particules sédimentées est, en effet, très différent suivant leur classe dimensionnelle.

La première difficulté qu'ont rencontrée les auteurs est dans l'explication du flottage des particules. Le transport par suspension paraît tout simple quand il s'agit de poudres. Il intrigue peut-être un peu plus quand il s'agit de grains de sable et paraît tout à fait étonnant quand il s'agit de galets.

Pourtant, ce dernier est certain : R. Koechlin ¹ a noté qu'au barrage de Laufenbourg, sur le Rhin, en aval de Schaffhouse, de gros galets, transportés en flottaison par le fleuve, étaient projetés à plusieurs mètres dans l'air à la rencontre des caissons du barrage. Les grilles de défense du canal d'aménée de l'usine de Kembs sont souvent bouchées par des galets. Pour le sable, l'observation est courante, notamment dans le cas de la Loire, en crue moyenne.

Ce transport, dans l'hypothèse d'un mouvement à filets parallèles a été attribué par Dupuit, et beaucoup d'auteurs l'ont suivi, notamment Partiot ² à l'influence du gradient de vitesse : les particules auraient tendance à se porter vers le lieu de vitesse maxima. Certains hydrauliciens, notamment R. Koechlin, ont pourtant douté de la validité d'une telle explication pour des particules plus denses que l'eau. Cet auteur en rend responsable la butée des filets contre un obstacle du fond (ou des berges) et leur réflexion consécutive. Il est certain que ce processus peut jouer, mais il est bien évident que l'importance du transport en suspension ne dépend pas uniquement de la rugosité du lit, mais surtout de la vitesse même du courant. On peut aussi penser que des groupes de filets sont déviés vers le fond et les berges et s'y réfléchissent, produisant une circulation ondulatoire. Cette théorie rend compte de l'existence d'espaces morts sous une ondulation du courant et de la possibilité d'accumulation des matériaux en forme de *dune*, fait reconnu par l'observation et l'expérience. Enfin, bien des auteurs font jouer les tourbillons verticaux « éruptifs » et les tourbillons horizontaux.

Il semble toutefois que c'est la *turbulence* qui joue le rôle principal, comme en aérodynamique. Celle-ci apparaît au-dessus d'une certaine *vitesse critique* dans des conditions équivalentes, comme nombre de Reynolds ³, rugosité des parois, charge transportée,

1. Mécanisme de l'eau, Paris, Bailière.

2. *Ann. des Ponts et Chaussées*, 5^e série, t. I, p. 223, 1871.

3. $R = \frac{v \cdot m}{\nu}$ ν est la viscosité cinématique, m le rayon hydraulique (rapport de la surface au périmètre mouillé).

mais sa nature même est encore mal connue. Parmi les instruments utilisés par les hydrauliciens, le moulinet ne donne que des vitesses moyennes au bout de plusieurs minutes de mesure et dans une seule direction, le tube de Pitot, qui mesure des pressions, a une inertie notable et ne travaille aussi que dans une direction. Il est nécessaire de faire des mesures instantanées dans plusieurs directions, et sans que l'instrument apporte un trouble à l'hydrodynamique normale du courant.

Il semble que ce soit une hypothèse toute théorique : celle de Prandl, des *quanta* d'eau projetés dans toutes les directions et pouvant se réfléchir contre les parois, qui rende le mieux compte des phénomènes observés. Cette explication semble calquée, à l'échelle près, sur la théorie cinétique des gaz ; elle utilise le même vocabulaire : fréquence de chocs, liberté de parcours. Dès qu'une particule est transportée vers le haut ou le milieu du courant, elle continue, pendant un certain temps à cheminer avec lui.

En effet, les particules qui tombent dans le courant ont une trajectoire parabolique, due à la combinaison de la vitesse de chute (régie par une loi de Stokes), qui diminue rapidement avec la diminution de dimension de la particule, et de la vitesse du courant. Il en résulte que cette trajectoire est d'autant plus tendue dans le sens du courant que la particule est plus petite. Pour de très petites particules, le temps qu'elles passeront dans le courant liquide est extrêmement long et la probabilité très grande qu'elles ont de rencontrer un courant ascendant qui les remette en suspension. Pour les particules de l'ordre de $1\ \mu$, les courants de convection suffiront à les maintenir dans la masse du courant. De plus, il semble qu'à l'exception des bras morts, de la bordure plate des rives convexes, des roselières, il soit impossible de trouver d'écoulement laminaire dans les cours d'eau naturels.

On peut donc, du point de vue de la turbulence, classer ainsi les particules :

1° Particules susceptibles d'être maintenues en suspension dans le seul régime à grande turbulence (ou forcé) des fleuves torrentiels cailloux.

2° Particules susceptibles d'être maintenues en suspension par le degré de turbulence des crues moyennes des fleuves normaux sables.

3° Particules susceptibles d'être maintenues en suspension par les plus faibles degrés de la turbulence, dans toute l'étendue du cours des rivières, sauf dans les bras morts, le long des berges convexes ou dans les roselières poudres.

4° Particules susceptibles d'être maintenues en suspension par les simples courants de convection..... précolloïdes.

Aucune mesure n'ayant encore été faite du degré de turbulence en rapport avec la puissance ou la capacité d'un cours d'eau, il est impossible de donner plus de précisions. Le coefficient d'échange (*Austauch*) de W. Schmid, n'est qu'une traduction des résultats du phénomène.

Il existe une autre différence essentielle entre les diverses classes de matériaux meubles transportés par le fleuve : un lit mobile de galets est à peu près plan : des accumulations à formes propres n'existent guère qu'en aval des obstacles ou de certains tourbillons et le long des rives (croissants de méandres dus à la perte d'énergie cinétique par le courant oscillant d'une rive à l'autre et choquant contre les rives).

Entre certaines limites de vitesse (les expériences de Gilbert les ont précisées pour des modèles réduits), les matériaux de la dimension des sables peuvent, non seulement s'accumuler à la façon des galets, mais former des *dunes* transversales de deux ordres de dimension : les *rides* du fond ou de véritables dunes comme les « grèves » de Loire¹. Ces accumulations ne sont pas fixes comme les bancs de galets. Les sables de la surface peuvent se déplacer d'une dune à l'autre, comme c'est le cas pour les dunes éoliennes ; elles peuvent « fumer » ou être ravagées par l'aval et sembler se déplacer vers l'amont (anti-dunes de Gilbert) ; tout ceci dans des conditions de vitesse bien déterminées.

Les grains de la dimension de celles des poudres et plus petites ne forment jamais de dunes ou de rides mobiles d'une façon continue, mais de simples tas dans le creux des ondulations. Ils ne peuvent *rouler* comme les grains de sable ; ils possèdent, même à sec (accumulations éoliennes de poussière) et bien plus dans l'eau, une cohésion qui fait qu'ils restent fixes ou ne sont enlevés que par des courants qui peuvent les maintenir en suspension.

Cette différence de comportement des différentes classes de matériaux meubles est encore plus remarquable pour ce qui est de la résistance à l'érosion des matériaux formant le lit de la rivière : Hjulström a tracé, d'après diverses expériences, les courbes des vitesses-limites de transport en suspension, en roulage ou d'érosion pour des particules dont les dimensions sont portées

1. PARTIOT, *op. cit.*

en abscisses. Les deux premières courbes sont parallèles, la troisième subit à 20μ une inflexion, puis remonte rapidement. C'est qu'au delà de cette limite apparaît la cohésion entre les particules sédimentées, qui est d'autant plus grande que celles-ci sont plus petites. Déjà on peut observer sur certains fonds de sable, peu uniformes, que des galets peuvent rouler sans que le sable soit érodé ; dans le cas des poudres, des limons, de la vase, l'aggrégation est définitive, tant qu'un courant chargé de sable ne les érode pas comme il ferait pour une roche. Les propriétés de *rigidité* jouent alors. Il faut dévaser le fond des rivières ou des ports en utilisant des moyens mécaniques (charrue) ou des injections d'air ou d'eau sous pression dont l'effet est thixotropique. Le port de Honfleur devait être dévasé par chasse d'eau, comme les barrages de l'Arve sont débarrassés de leurs galets. Mais les courants capables de transporter des galets sont sans action sur la vase consolidée ¹.

En régime variable, des suspensions pulvérulentes, avec ou sans colloïdes, peuvent pénétrer entre les galets du lit d'une rivière et constituer ainsi des sols très difficiles à éroder.

Toutes ces observations sont applicables aux courants marins et, dans une très forte mesure, aux courants éoliens ; même les dunes sahariennes sont en effet humides dans leur masse ; les phénomènes d'aggrégation y jouent donc un rôle important.

Une autre particularité des suspensions de poudre, avec un certain pourcentage de sables fins et de colloïdes est, quand ils se trouvent en *suspension*, de s'agréger aux particules légères transportées en flottaison : écume, débris végétaux, frustules de Diatomées. Il en résulte des ensembles à mailles hexagonales, remplies d'eau et souvent d'air, qui peuvent se réunir les uns aux autres et former des nappes continues. Ils adhèrent aux berges ou aux divers obstacles, végétation, pilots. J'ai montré que c'est essentiellement sous cette forme que se dépose la vase des rivières ou des estuaires. Les flocons, alourdis au bout d'un certain temps, peuvent aussi tomber sur le fond. Le mécanisme de formation de ces flocons est celui de l'attraction capillaire ; il ne faut pas les confondre avec ceux dus à la *coagulation* par les électrolytes qui ne se produit qu'à partir de la dimension limite de 1μ . On a fait jouer un rôle capital à la coagulation dans le cours inférieur des rivières, deltas ou estuaires. Celle-ci n'est guère connue que par des

1. Voir notamment LÉCHALAS M. C. Introduction à « La Seine maritime et son Estuaire », par E. LAVOINE. Paris, Leroux, et l'article « vase » dans la *Grande Encyclopédie* du XIX^e siècle.

expériences *in vitro*, où les conditions ne sont pas forcément les mêmes que dans la nature. La physico-chimie des estuaires et les phénomènes de sédimentation qui s'y produisent sont encore trop mal étudiés pour qu'une théorie adéquate puisse en être donnée.

Si, grâce à tous ces phénomènes, une très grande variété granulométrique caractérise les sols sous-fluviaux et sous-marins, elle contraste avec l'uniformité relative de bancs de galets ou de dunes de sable. C'est que ceux-ci, incomplètement colmatés par les phases fines, ont pu être *vanés* par les eaux qui les traversent. Le vanage des galets est facile, celui des sables plus difficile, celui des poudres impossible. Ces différences de comportement entre chaque classe proviennent des différences dans le type de *filtration* qui caractérisent les différentes classes de matériaux meubles.

II. — RÉACTIONS* DES DIVERS ORDRES DIMENSIONNELS DE MATÉRIAUX MEUBLES VIS-A-VIS DES COURANTS DE FILTRATION.

L'eau peut pénétrer, dans les massifs de cailloux, en mouvement turbulent si la différence de pression est suffisante. Les canaux complexes qui forment les vides entre les galets sont assimilables à des conduites forcées : les variations de pressions qui y sont transmises sont instantanées ; des coups de bélier peuvent s'y produire. L'air peut en être aussi expulsé rapidement vers le haut ou vers le bas, déterminant de brusques compressions ou décompressions. Ainsi des bouchons de sable peuvent être rapidement détruits. Les galets sont donc, à moins d'avoir été totalement colmatés, perméables en grand.

Les sables sont caractérisés par des dimensions de vides telles que la circulation ne peut s'y faire qu'en régime capillaire ou de Poiseuille. Les pertes de charge y sont importantes. Les transmissions de pression sont lentes, mais l'air peut encore être expulsé. Il ne faut pas oublier que l'indice des vides réel des sables est diminué par l'existence des ménisques entre les grains et par le pouvoir de rétention des surfaces, adsorption, attraction vis-à-vis des matières mouillées, si le sable est incomplètement plein d'eau, etc. Enfin, la filtration des eaux développe, à partir de cette dimension, une force électromotrice de filtration, suffisante peut-être pour électrolyser certains sels¹.

1. Ainsi peut, peut-être, s'expliquer (suggestion de Georges Urbain), par la libération d'un ion Cl^- , l'action que l'eau de mer a sur la cimentation rapide des poudres calcaires ou même des marnes (cimentation des limons rouges du Maroc, des marnes des digues de Tanger-Fès ou des îles apparues dans les substratum de gault sous l'effet de l'éboulement des falaises de Folkestone (obs. de Ch. Langer).

Au-dessous de 20μ , la circulation ne se fait plus par capillarité, mais, d'après B. A. Keen ¹, par descente brusque d'un certain *quantum* d'eau d'imprégnation. L'air n'est jamais complètement expulsé et il s'oppose à la circulation capillaire par *effet Jamin* ². L'imbibition ne détruit par l'aggrégation des particules. Enfin, dans les cas de particules de la dimension des précolloïdes, la pénétration directe de l'eau est impossible. Les argiles sont imperméables tant que des fentes de dessiccation ne s'y produisent pas. J'ai montré plus haut (p. 139), que sous l'effet des pressions ou du poids des couches, une perméabilité *virtuelle* très lente se produisait dans leur cas.

Des actions de surface s'exercent, en outre, entre les particules et le liquide qui a pénétré dans l'ensemble.

Actions de surface.

Parmi ces actions nous citerons : l'adsorption des micelles et des ions, les attaques chimiques (réactions proprement dites et solubilisation) et les mouvements browniens (réaction mécanique des particules vis-à-vis du choc des molécules des liquides).

Aucune de ces actions n'est évidemment restreinte à un domaine dimensionnel particulier, mais leur résultat global dépend essentiellement de la surface spécifique de la particule ou, à densité égale, du rapport $\frac{V}{S}$. Les propriétés d'adsorption existent manifestement dans le cas de galets, mais elles ne prennent d'importance que dans le cas des sables. Dans celui des poudres, la masse des particules et des ions qui peuvent être adsorbés, est déjà une fraction importante de celle du matériel initial. Les associations + poudres colloïdes + ions sont donc la règle et il est très difficile de les séparer. Une autre conséquence de l'augmentation relative de la surface par rapport à la masse et l'augmentation du nombre des points de contact directs par le simple effet du poids. Ainsi s'explique la cohérence déjà à sec que présentent les poudres. Quand des pressions plus élevées se produisent, mettant en contact les solides, nous avons alors production de soudures définitives (*lapidification*, voir p. 139) ou même des réactions entre solides, comme celles qu'ont révélées les expériences de Spring. Enfin, la mise en solution étant fonction de la surface de contact, celle-ci pourra déjà être notable pour des sables, et prend une grande importance dans le cas des poudres de quartz par exemple.

1. The circulation of Water in the soil between the Surface and the Level of Under ground water. Union Int. de Geodesie et Geophys. PV, Edinbourg 1936 (ronéotype).

2. C'est à l'effet Jamin (immobilité des bulles d'air) que sont dues les embolies gazeuses. On peut, grâce à l'effet Jamin, interpréter les mesures d'Atterberg qui a étudié le rapport entre le temps de montée capillaire observé et calculé. En dessous de 0,02 mm., ce rapport est de beaucoup supérieur à l'unité.

L'action de la charge électrostatique ne se limite pas non plus aux très petites particules. Dès la dimension des poudres et surtout des précolloïdes, elle domine celles de la pesanteur. La charge des particules, les attractions et répulsions qui se produisent entre elles, ou entre elles et les micelles et les ions, déterminent, dès la dimension des précolloïdes, le comportement de l'ensemble, son maintien en *sol* dispersé ou sa condensation en flocons, ou sa coagulation en un *gel*. L'adsorption d'ions, qui modifie la charge de la particule, va donc jouer, à partir des précolloïdes, un rôle prédominant.

La cohérence très grande des gels, ou même d'ensembles plus grossiers comme les argiles qui leur sont assimilables, les soustrait aux actions de l'eau extérieure. Néanmoins les interactions chimiques à l'intérieur permettent, avec le temps, sans grande modification des conditions de température et de pression, le regroupement des constituants vers un équilibre plus stable. Ainsi s'expliquerait le fait que les argiles se conservent mal dans la série des temps géologiques, tandis que des sables ont pu rester intacts depuis le Cambrien.

CONCLUSION.

Ainsi se trouve justifiée par la prédominance très nette, dans l'intérieur d'une classe, d'un faisceau de propriétés physiques, la classification que je proposais au début de ces pages. Elle ne heurte en rien le sens commun qui, semble-t-il, avait reconnu intuitivement l'existence de ces particularités de chaque classe.

Je la résumerai ainsi :

A. *Cailloux ou Ballast* (du m. à 2 mm.).

masse importante par rapport aux rugosités du sol ; adhésion impossible à sec ou par l'intermédiaire de l'eau hygroscopique ; transport par les courants d'eau ou d'air par *roulage* sur le sol ou en suspension dans les seuls régimes à très grande turbulence ; percolation des eaux possible en régime turbulent ; transmission instantanée des pressions dans les eaux percolées ; pénétration des boues et visqueux sous la seule gravité.

B. *Sables* (de 2 mm. à 0,02 mm. (20 μ)).

masse faible par rapport aux rugosités du sol = arrêt facile des éboulis ; cohésion nulle à sec, adhésion possible par l'eau hygroscopique ; transport par les courants par roulage, ou en suspension dans les turbulences modérées, formation de *dunes* ; percolation de l'eau facile, mais circulation en régime capillaire avec retard dans la transmission des pressions et importantes pertes de charge, percolation des boues ou visqueux sous de fortes différences de pression, indice de plasticité nul ou très faible, pouvoir adsorbant déjà notable.

C. *Poudres* (de 0,02 mm. à 0,001 mm. (1μ , 10^4 Å)).

adhésion à sec déjà notable, importante par l'eau fixée, suspensions concentrées ou boues, rigides, thixotropiques; transport par les courants en suspension, même pour les faibles turbulences (régime d'étiage des rivières tranquilles); pas de dunes, ou de rides, pénétration des eaux par *quanta d'imprégnation*, effet Jamin; pouvoir adsorbant grand vis-à-vis des particules plus petites ou des ions et formation ainsi d'associations très difficiles à rompre (vases, limons); pas de coagulation; pas de mouvements browniens, pas de consolidation sous l'effet des pressions dont l'accroissement entraîne la désagrégation; perméabilité très faible, la pression ne développe pas de perméabilité secondaire.

D. *Précolloïdes* (de 0,001 à 0,0001 mm (1μ ou 10^4 Å à $0,1\mu$ ou 10^3 Å)).

adhésion à sec ou par l'eau hygroscopique; transport en suspension, même sous l'effet des courants de convection; imperméabilité à l'eau, mais microperméabilité virtuelle sous l'effet de la pression; grand indice de plasticité, suspensions rigides pour de faibles concentrations (2 %), mais thixotropie seulement en présence d'ions (?); pouvoir adsorbant considérable; mouvements browniens; consolidation par les pressions, coagulation par les électrolytes, formation facile d'agrégats ou de flocons, gonflement et retrait important; lapidification sous l'effet des pressions.

E. *Colloïdes vrais* ($< 0,0001\text{ mm.}$ ($0,1\mu$ ou 10^3 Å)).



Paul Gemoine

1878 - 1940

PAUL LEMOINE

1878-1940

PAR **Maurice Gignoux**¹.

UN PORTRAIT

Parmi tous les deuils qui ont frappé la Société Géologique de France ces dernières années, il n'en est point qui aient laissé un vide aussi grand que la disparition prématurée de notre confrère Paul Lemoine.

Il tenait parmi nous, depuis si longtemps, une place si vivante et si active ; ses initiatives, ses encouragements aux jeunes, ses conseils aux collègues, étaient pour beaucoup dans la vitalité de notre Société. Ceux qui l'ont une fois rencontré n'oublieront jamais cet abord franc et loyal, ce masque expressif et tourmenté, sur lequel il semblait que les stigmates de nos plus lointaines colonies eussent laissé leur empreinte. Et c'est une tâche bien lourde que d'essayer de faire revivre devant vous une personnalité qui s'est affirmée autant par des activités journalières et verbales que par des écrits.

A cette époque tragique, où, chez beaucoup d'hommes de Science de notre pays, le goût de l'action et de l'organisation paraît s'être quelque peu affaibli, il n'est pourtant pas de meilleure leçon que de retracer une pareille carrière : je suis sûr que lui-même et ceux et celle qu'il laisse voudraient que par delà la mort son exemple nous transmette un peu de la flamme qui l'anima.

Car si, comme beaucoup d'entre nous, Paul Lemoine fut un universitaire, un fonctionnaire, en revanche, de quelles fécondes vicissitudes, de quelles initiatives courageuses ne sut-il pas animer et faire rayonner une existence qui aurait pu s'écouler tranquille, sans avatars, dans le calme et la quiétude de ceux qui se bornent à remplir quotidiennement les devoirs de leur fonction sociale. Paul Lemoine a toujours voulu plus : il a voulu faire plus que son devoir.

1. Notice lue à la séance du 9 juin 1941.

Il est né le 28 mars 1878 à Paris, où il devait mourir le 14 mars 1940, achevant ainsi une carrière qui fut d'abord errante, mais dont le centre, le point d'attraction, resta toujours la Capitale.

Des traditions familiales l'orientaient tout naturellement vers les études scientifiques : son père, Georges Lemoine, dont le nom restera célèbre dans l'histoire de la Chimie française, fut Membre de l'Institut et Professeur à l'École Polytechnique : dans ces milieux, les encouragements ne manquèrent point au jeune Paul Lemoine. Mais la Géologie l'avait conquis de bonne heure, et, déjà, c'est au Bassin de Paris qu'il doit l'éveil de sa vocation : il fut l'un des participants les plus assidus aux excursions géologiques que dirigeait Stanislas Meunier, alors professeur au Muséum d'Histoire Naturelle, avec une verve parfois un peu fantaisiste et désordonnée, mais toujours entraînante.

Pendant ce temps, il poursuivait ses études en Sorbonne, et sur les conseils de son Maître d'alors, Munier-Chalmas, et des amis de son père, tel M. Emile Picard, il n'hésita pas à consacrer plusieurs années à se faire, dès le début, une solide culture scientifique ; bachelier en 1895, c'est en 1900 seulement qu'il termina ses études préliminaires en Sorbonne, muni d'une double licence en Sciences naturelles et en Sciences physiques, précédée du P.C.N.

A cette époque, lors des séjours de vacances à Tonnerre, dans l'Yonne, dans la maison familiale de son père, il rencontrait notre confrère C. Rouyer ; c'est en sa compagnie qu'il fit ses premières observations géologiques personnelles, résumées dans un article préliminaire [2]¹ publié dans notre *Bulletin* en 1902². On y note des qualités et une méthode qui laissent déjà prévoir, dans ce débutant, l'excellent stratigraphe qu'il devait devenir. Le Kimeridgien de l'Yonne ne se prêtait nullement à de brillantes spéculations, ni à une de ces synthèses tectoniques qui commençaient alors à exercer une grande attraction sur les jeunes et leur faisaient parfois négliger l'apprentissage de l'observation géologique. En revanche, ces premiers travaux lui apprirent à relever des coupes minutieusement, en notant faciès et épaisseurs, à acquérir la notion concrète de ce qu'est une zone paléontologique : tâches semblant modestes et souvent ingrates, mais qui marquent à jamais ceux qui ont su s'y plier dès le début.

Une occasion, et l'occasion vient toujours à ceux qui la cherchent

1. Les numéros entre [] se rapportent à la liste bibliographique ci-jointe.

2. Et bientôt suivi d'un travail plus étendu [15].

et en sont dignes, se présenta alors pour lui d'exercer ses qualités d'observation dans un domaine plus neuf.

C'est en ce moment que, sous l'impulsion de M. Alfred Lacroix, débutait l'étude scientifique de notre empire colonial. L'Algérie avait déjà ses géologues, et recrutait facilement de jeunes travailleurs. Mais on commençait à parler de la Géologie de l'Indo-Chine, du Maroc, de Madagascar, domaines qui restaient encore peu connus, mais d'où des envois de fossiles et de roches, faits par des officiers, des administrateurs, des colons, affluaient déjà dans les Laboratoires parisiens.

Paul Lemoine, auquel une Thèse de Doctorat consacrée à des pays moins lointains et moins neufs eût sans doute suffi à assurer une carrière universitaire, n'hésita pas à choisir pour sujet d'étude la plus éloignée, la plus ignorée de ces colonies. En 1902 il demande et obtient une mission scientifique pour Madagascar ; il devait y passer près de deux années, coupées d'un court séjour en France, où il eut le loisir de commencer l'étude des matériaux récoltés et de se poser ainsi de nouveaux problèmes que son second voyage lui permit de résoudre sur le terrain. C'est donc, non pas une description d'itinéraires, mais une véritable monographie géologique du Nord et de l'Ouest de la grande Ile, illustrée de fort belles cartes, que Lemoine put rapporter de ses séjours à Madagascar [31] : ce fut la Thèse que notre Société devait, quelques années plus tard, récompenser en décernant à son auteur le Prix Fontannes.

D'ailleurs, en pleine rédaction de sa Thèse, et n'hésitant pas à retarder un peu le moment où le titre de Docteur viendrait consacrer ses travaux, notre jeune explorateur se laissa tenter par une nouvelle occasion de lointains voyages. Un Comité d'études du Maroc venait de se constituer, et l'un des premiers missionnaires qui répondirent à l'appel de ce Comité fut encore Paul Lemoine. Cette mission marocaine de 1904-1905 n'était point alors sans fatigues ni sans risques : pour la première fois, un savant français allait parcourir le Maroc occidental, par Tanger, Mogador, Safi, Marrakech, et pousser jusqu'aux domaines des « Seigneurs de l'Atlas », qui commandent les passages aux plaines déjà sahariennes du Sous.

Cette rapide randonnée lui suffit pour reconnaître les grandes lignes de la Stratigraphie et même de la Tectonique du Maroc occidental : encore aujourd'hui ses travaux [23-29] guident les géologues qui, plus favorisés, ont pu y travailler dans de meilleures conditions de confort et de sécurité.

Il semblait donc que Paul Lemoine fût appelé à devenir un des

plus actifs explorateurs de notre empire africain. Mais les circonstances en décidèrent autrement. Comme il nous l'a dit lui-même : « Louis Gentil explorait en même temps d'autres régions du Maroc beaucoup plus difficiles. Il était mon maître et mon ami, mais nous n'avions pas, sur toutes les questions de géologie, les mêmes façons de penser. J'ai sacrifié le Maroc à mon amitié pour lui et j'ai cherché une autre voie où j'avais plus d'indépendance ». Sacrifice qui a privé ces premières équipes de pionniers marocains d'un stratigraphe prudent et minutieux, mais sacrifice qui témoigne de la noblesse de caractère et de la délicatesse de sentiments de celui qui le consentit.

Ainsi se clôt une première période de la vie de Paul Lemoine, celle de l'explorateur. Dorénavant, sans cesser, bien loin de là, de s'intéresser à la Géologie coloniale¹, il bornera, à peu de chose près, ses observations personnelles à la région parisienne, où le ramenaient, à la fois, ses souvenirs d'enfance et ses nouvelles fonctions.

Car de ce moment date son rayonnement sur les nombreux élèves et amis que lui valurent, dans les milieux les plus divers, les brillantes qualités de ses conversations, et son assiduité aux séances de notre Société. Dès 1905 il était préparateur délégué au Laboratoire de Géologie de la Sorbonne, où, en 1907, lui furent confiées les fonctions de Chargé de Cours. En 1908 il entra, en qualité de Chef des Travaux, dans ce Muséum National d'Histoire naturelle auquel il devait consacrer le meilleur de sa vie. En même temps, son goût pour la Géologie appliquée le désignait tout naturellement pour des cours à l'École spéciale d'Architecture et pour la direction des travaux pratiques à l'École Nationale supérieure des Mines.

La guerre de 1914 vint momentanément interrompre ces multiples activités : grâce à sa prévoyance et au choix heureux de ses chefs, ses compétences purent être utilisées de la façon la plus rationnelle : officier d'État-major, il fut affecté au Service géographique de diverses Armées de la métropole, et, finalement, jusqu'en avril 1919, à l'Armée du Levant. Là, après avoir été chargé de mettre au point, au Service central, la distribution des cartes d'État-major, puis du matériel topographique, il participa à de nombreuses opérations géodésiques sur le terrain, en Alsace, dans les régions de la Somme, de Villers-Cotteret et de Soissons, enfin à Beyrouth.

1. Rappelons en particulier les deux remarquables petits volumes ([102]. et [106]) qu'il publia dans la collection du « Handbuch der regionalen Geologie ».

A son retour du Levant, en 1919, il accepte une mission d'enseignement de la Géologie à l'Université de Toulouse, remplaçant M. Charles Jacob, alors en Indo-Chine : acceptation méritoire, puisqu'il n'ignorait pas que la chaire de Toulouse ne pouvait lui échoir ; ne serait-ce point là un exemple à citer à certains jeunes universitaires, qui n'acceptent de déplacements que s'ils s'accordent avec leurs soucis de carrière ou avec leurs convenances familiales.

Ce court passage dans une de nos Universités provinciales fut d'ailleurs le dernier avatar de Paul Lemoine. En 1920 il revient à Paris comme Professeur de Géologie au Muséum, où il devait être Directeur de 1932 à 1936. Et c'est à Paris qu'il s'est éteint prématurément, en 1940, après quelques mois de lutte stoïque contre la maladie, dans cette atmosphère déjà angoissée du début de la grande guerre, à laquelle ses deux fils participaient courageusement comme combattants.

Tel fut le cadre de sa vie, telles furent les occasions d'activité que lui offrirent les vicissitudes d'une carrière mouvementée.

Il nous reste maintenant à voir comment, dans ce cadre, son tempérament lui permit de faire œuvre de savant et œuvre d'homme. Il n'est point dans mon intention, ici, d'énumérer une à une toutes les observations géologiques et les synthèses que nous devons à Paul Lemoine : ce serait redire ce qu'il a si bien résumé lui-même dans sa « Notice » sur ses travaux. La Géologie, certes, nous intéresse, puisque nous y consacrons notre vie ; mais, ici, dans ces évocations dont les traditions de la Société nous font un pieux devoir, ce sont les géologues qui doivent nous intéresser plus que la Géologie.

Cherchons donc ensemble à retracer quels furent les traits dominants les plus caractéristiques de cette œuvre et de cette activité.

D'abord Paul Lemoine tenait, de sa formation première dans le Bassin de Paris, cette obsession, ce constant souci de l'observation géologique minutieuse et détaillée, qualités communes à tous les grands géologues de la génération précédente, à tous ceux qui fondèrent la stratigraphie. Or, dans la région parisienne, les observations géologiques ne sont, le plus souvent, possibles qu'à l'occasion de travaux industriels ; de plus, leurs synthèses ne peuvent en général se traduire dans le paysage, mais apparaissent surtout sous forme de graphiques, de coupes, de cartes, dans la conception desquels Paul Lemoine excellait. De là découle chez lui cette sorte d'affection inconsciente pour la

nature mécanisée et domestiquée par l'homme. Les sauvages montagnes de la Vanoise, qu'il eut l'occasion de parcourir, ne lui inspirèrent qu'une petite Note [42], qui n'est forcément point parmi ses meilleures œuvres. Et lui-même nous a donné une preuve bien typique de cette tournure d'esprit. Ayant à citer, dans sa « Notice », quelques passages caractéristiques du livre qu'il rapporta de sa mission au Maroc, les lignes préférées, qui sont venues tout naturellement sous sa plume, ne sont point des souvenirs personnels de ces paysages africains, ni même des évocations géologiques ; non : ce sont quelques phrases, d'ailleurs d'allure véritablement prophétique (car écrites en 1905), relatives au développement social des populations du Haut-Atlas et aux possibilités de richesses agricoles du Maroc occidental.

De fait, chez lui, le savant et l'observateur sont toujours doublés d'un industriel, d'un réalisateur, d'un homme d'action, je dirais presque d'un homme d'affaires, dans le beau sens du terme. Ce que l'homme a créé, ce qu'il a mécanisé, le retient plus que ce qui est naturel ; involontairement et inconsciemment, il laisse parfois voir qu'un sondage l'intéresse plus que des affleurements dans un ravin.

Aussi une part importante de son activité a-t-elle été consacrée à des questions de Géologie vraiment appliquée et d'une réalisation immédiate¹. Les ressources en eau, sources ou forages, du bassin parisien ont trouvé en lui un descripteur infatigable, toujours en quête de documents, jamais las de fouiller les archives de tous les services techniques publics ou privés. Et l'un des derniers ouvrages qu'il nous ait laissé, « Les forages artésiens profonds du bassin de Paris », en collaboration avec MM. Humery et Soyer [263], œuvre d'ingénieur autant que de géologue, est en réalité un véritable traité de l'exploitation des nappes artésiennes qui sera consulté avec fruit par tous les techniciens et qui rectifie beaucoup d'idées classiques erronées.

De même, parmi les phénomènes géologiques, ceux dont l'étude l'a naturellement attiré sont ceux qui ont le caractère le plus mécanique, le plus dynamique. Il s'est plu à faire la monographie d'une crue de la Seine [97], et à écrire un excellent petit ouvrage sur les tremblements de terre et les volcans [202]. Sur le volcanisme il n'avait guère eu l'occasion d'apporter des observations personnelles ; mais on sait qu'il n'avait pu se retenir d'aller lui-même sur place étudier les effets et les causes du plus fort séisme que nous ayons eu en France ces dernières

1. On connaît le succès mérité obtenu par sa traduction française de l'ouvrage de Geikie [100].

années, celui qui ravagea plusieurs villages de Provence en juin 1909 [73, 74]. Ceux de nos confrères qui ne connaissent Paul Lemoine que comme l'auteur d'un mémoire sur les Lépidocyclines et comme le stratigraphe spécialiste du bassin de Paris ont dû parfois être étonnés de le voir s'intéresser à la sismologie : je crois en avoir soupçonné la raison, dont il était probablement inconscient lui-même.

De fait, dans sa « Notice », il nous donne de bien médiocres raisons pour nous expliquer l'intérêt qu'il a toujours porté à la « Géologie sous-marine » et à la « Géologie profonde » : c'est, nous dit-il, parce qu'« une partie des affleurements est cachée par les mers » et que « tout ce qui se passe en profondeur n'est pas accessible directement ». En réalité, et à son insu, s'il s'est intéressé à la Géologie sous-marine (pour laquelle il fut, comme en tant d'autres domaines, un initiateur et un organisateur [123]), c'est qu'elle réclame l'emploi de techniques nouvelles et qu'elle traduit une augmentation de l'emprise de l'homme sur la nature.

Cette tournure d'esprit industrielle de Paul Lemoine s'exprime non seulement par la nature des questions dont il choisit l'étude, mais aussi par la manière dont il les étudie : comme un industriel devant sa machine, il se préoccupe surtout de savoir « si ça marche » et « si ça produit », plus que de bâtir des théories pour expliquer « comment ça marche » ; une fois l'impulsion donnée, il laisse à d'autres le soin de ratiociner sur le mécanisme ; son activité débordante le pousse sans cesse à mettre d'autres machines en marche.

Ainsi, s'il a été un des premiers en France, après M. Alfred Lacroix, à s'intéresser aux problèmes compliqués que posent les terres latéritiques et bauxitiques [8, 60], après avoir relaté en détail beaucoup d'observations précises et d'analyses, il ne fait guère qu'indiquer brièvement les directions dans lesquelles on devra chercher l'explication des curieuses transformations constatées ; mais il prend soin, dans sa « Notice », de souligner que ses études ont orienté des exploitations (ou des tentatives d'exploitation) de minerais de fer et d'alumine.

Il va être maintenant encore plus intéressant de voir comment ces tendances réalistes, positives, dirons-nous, ont coloré l'œuvre de Science pure de Paul Lemoine.

Pour notre génération, et on peut le dire, pour beaucoup de générations futures, P. Lemoine restera avant tout le « géologue du bassin de Paris ». Ce sujet n'était facile qu'en apparence :

depuis des siècles, des multitudes d'observations consciencieuses avaient été poursuivies dans la région parisienne ; la succession de ses terrains était devenue le point de départ de la stratigraphie du Jurassique, du Crétacé et surtout du Tertiaire européen ; Munier-Chalmas et de Lapparent en avaient codifié la nomenclature et avaient fait de chacun des étages du Tertiaire parisien une sorte de personnalité internationale, dont tout géologue, dans le monde entier, connaissait le nom et la physionomie générale. Mais, à qui voulait analyser plus profondément ces personnalités, combien de difficultés et d'obscurités ! Quelle était, pour chaque étage, la répartition des zones paléontologiques ? Comment variaient les faciès, les faunes qui les caractérisent, les épaisseurs des sédiments ? Quelles étaient les étapes et les limites exactes des transgressions et des régressions ? Pour le savoir, il eût fallu dépouiller un nombre immense de notes fragmentaires, d'observations faites sous des points de vue divers et imprégnées de théories différentes. Paul Lemoine a consacré une grande partie de sa vie à ce labeur immense ; il y a ajouté des observations personnelles (en particulier sur le Kimeridgien, le Montien, le Lutétien, le Quaternaire, etc., et surtout d'innombrables coupes de sondages) ; et il a su en tirer un ouvrage qui dès l'abord s'est imposé au public géologique français et mondial [103].

Sa « Géologie du bassin de Paris » a d'abord les plus grandes qualités que l'on doit réclamer à un livre : c'est d'être bref et clair, de ne retenir que les détails utiles à une synthèse ; et ensuite d'être écrit, non par devoir, comme une tâche, mais par goût. L'auteur est en effet ici dans son domaine favori : comme il a pris soin de nous le dire lui-même, « il m'a toujours apparu que le point crucial des Sciences géologiques, sur lequel venaient converger les renseignements venus des autres sciences, était la Stratigraphie ; ... c'est à elle que je me suis plus particulièrement dévoué ». Et cette stratigraphie trouve son expression synthétique dans des schémas de faciès, dans des reconstitutions paléogéographiques qui, pour le Tertiaire parisien, peuvent être faites avec une précision et une exactitude particulières ; ainsi que son émule Maurice Leriche, Paul Lemoine y a excellé ; ses figures ont été bien des fois reproduites, ou ont inspiré tous ses successeurs.

Ce même souci de synthèses paléogéographiques, ou, si l'on veut, de « mécanisation de la stratigraphie », se marque déjà dans sa Thèse ; il en a fait l'objet d'un chapitre spécial fort étendu, où, partant de ses observations dans la grande Ile, il tente de

reconstituer toute l'histoire de l'Océan Indien. Et, là encore, il laisse à d'autres le soin de développer des théories aventureuses : la notion de géosynclinal venait d'être brillamment vulgarisée en France par Émile Haug, et avec sa hardiesse coutumière, le grand maître de la Sorbonne en avait immédiatement fait le point de départ de sa « loi des transgressions et régressions ». Paul Lemoine se borne à évoquer prudemment ces idées abstraites : visiblement elles sont surtout pour lui des incitations à rassembler toute une documentation qui, plus tard, pourra servir à en éprouver la valeur.

Peut-être est-ce ce souci de précision, cet esprit positiviste, qui lui a fait envisager sous un jour un peu spécial les questions de tectonique. On en a la preuve dans les lignes suivantes, d'apparence un peu paradoxale, que j'extrais de sa « Notice » : « Je n'ai presque jamais eu l'occasion d'aborder sur le terrain les problèmes si ardu et si controversés de la tectonique alpine et de la tectonique pyrénéenne ; j'ai pensé qu'il y avait plus d'intérêt à étudier des petits plissements qui affectent les couches géologiques dans des pays calmes comme le bassin de Paris et qui se prêtent à une analyse précise ». C'est un fait que tous les grands tectoniciens des chaînes récentes, E. Suess, P. Termier, M. Bertrand, pour ne citer que les disparus, ont été des mystiques et des rêveurs ; c'est surtout par leur mode d'expression, par leurs symboles, leurs images, que leurs œuvres ont charmé tant de nos jeunes géologues. Pour reprendre une expression de Charles Depéret, cet autre grand stratigraphe de la même trempe réaliste, j'imagine que Paul Lemoine devait considérer les grandes synthèses tectoniques alpines comme des « romans » : opinion qui peut d'ailleurs se justifier ; mais il faut, pour les progrès de la pensée humaine, des romanciers et des poètes aussi bien que des positivistes et des hommes d'action.

Au contraire la seule tectonique dont Paul Lemoine se soit occupé, celle du bassin de Paris, était plutôt faite pour fermer des horizons que pour en ouvrir. De fait ses recherches l'ont conduit à deux conclusions principales : d'abord, que la notion de « phases orogéniques » ne résistait pas à l'examen des faits, et que le phénomène de plissement avait été continu pendant de longues périodes géologiques, idée familière depuis longtemps aux géologues des Alpes orientales et des Alpes françaises, et que les géologues suisses développent actuellement ; ensuite, combien sont fragiles et incertaines toutes les tentatives de reconstitution d'axes de plissement tertiaires dans le bassin de

Paris, et de comparaison de ces axes avec les directions des plissements plus anciens. Témoins les quelques lignés, un peu désabusées [71, 80], dans lesquelles, avec sa franchise coutumière, il résume le résultat de ses minutieuses analyses : « Il n'y a, dans la répartition de ces variations (d'épaisseur et d'altitude d'une même couche), aucune loi. Au lieu des anticlinaux et des synclinaux habituellement tracés, il faut admettre des dômes et des cuvettes : ceux-ci ne subsistent pas indéfiniment sur le même emplacement, la croûte terrestre est beaucoup plus mobile qu'on ne le pense communément... Quand on possèdera pour des surfaces un peu considérables des courbes de déformation, analogues à celles que je cherche à dresser, il sera peut-être possible de soumettre à l'analyse mathématique ces lois de déformation ».

Ces mêmes préoccupations stratigraphiques et paléogéographiques ont aussi constamment inspiré Paul Lemoine dans ses travaux de Paléontologie. Ses études sur les Ammonites de Madagascar [92], de l'Yonne [15], de l'Afrique orientale, de l'Afrique occidentale, du Maroc [41], ont été surtout conduites en vue de préciser l'âge des terrains et les migrations des faunes. Et sa monographie, en collaboration avec R. Douvillé, des Lépidocyclines [14], a été en effet le point de départ de toute une série de travaux qui, dans le monde entier, ont montré l'utilité du grand groupe des Orbitoïdés dans la stratigraphie du Tertiaire marin.

Par contre, Paul Lemoine, plus que beaucoup de ses contemporains, a fort bien jugé ce que l'on serait tenté d'appeler la « faillite » de la Paléontologie pure dans toutes les tentatives d'expliquer le mécanisme de l'évolution et la transformation des espèces. Et, ce jugement, il l'a exprimé avec une entière franchise et même une certaine brutalité dans la préface et les conclusions du chapitre de la « Grande Encyclopédie » dont il avait assumé la direction [261] ; certains en ont été un peu étonnés et même choqués. Rien de plus naturel au contraire quand on connaît la psychologie de l'auteur. Imaginons en effet qu'un industriel, un homme de réalisations, non imprégné de l'atmosphère qui règne dans nos Laboratoires et nos Amphithéâtres, entende exposer l'état des recherches qui s'y poursuivent sur l'évolution, et tâche de traduire en langage positif la terminologie technique un peu vide sous laquelle nous déguisons notre ignorance (pour éviter de décourager les chercheurs) : il est bien certain qu'il s'exprimerait comme l'a fait Paul Lemoine.

Primum agere, deinde philosophari : Paul Lemoine a agi, il a fort peu philosophé (nous n'avons eu que trop de philosophes pendant ces dernières années). Et cette action, dont nous ne pouvons, dans ses écrits, que déceler l'annonce et l'impulsion, c'est autour de lui, dans les cercles qu'il a fréquentés, qu'il nous en faut trouver les témoignages.

Ses premières études sur Madagascar l'avaient conduit à s'intéresser aux problèmes de Paléogéographie et de répartition des faunes anciennes : il rencontra en son collègue et ami L. Joleaud un esprit curieusement voisin du sien à beaucoup de points de vue : Joleaud, lui non plus, n'était pas un philosophe, mais plutôt un chartiste, un fouilleur d'archives, un infatigable amas-seur de documents ; à eux deux, aidés de divers amis, ils fondèrent la Société de Biogéographie [167], où l'heureuse collaboration de zoologistes, de botanistes, de géologues permit, en grande partie sur les initiatives de Paul Lemoine, non seulement de fructueuses discussions, mais encore la publication de toute une série de petits volumes d'un tour tout à fait nouveau (peuplements des montagnes, des îles ; la vie dans les déserts ; etc.).

Jusque dans le domaine de la Paléontologie pure, il mit en œuvre ses qualités d'organisation et d'industrialisation, en fondant et en animant de sa vibrante activité le Syndicat de documentation géologique et paléontologique, qui, dans sa pensée [144], devait être une sorte de mécanisme permettant à n'importe quel géologue non spécialiste la détermination rapide des fossiles les plus divers.

Et, dans ce même domaine, il dut avoir une bien grande joie à voir celle qui fut la fidèle et affectueuse compagne et collaboratrice de toute sa vie se consacrer, sur ses conseils, à l'étude d'un groupe délaissé, les Algues calcaires fossiles.

Enfin, pour ce grand amoureux du Tertiaire parisien, quelle satisfaction ce dût être de voir aboutir tant de travaux inspirés par lui, d'accord avec ses collègues de la Sorbonne : ceux de R. Abrard sur le Lutétien, de Farchad sur le Thanétien, de M^{lle} Alimen sur le Stampien ; et sa joie eût été complète s'il avait pu voir paraître la monographie du Bartonien que nous donneront certainement ses amis Morellet, et à laquelle il faisait depuis longtemps allusion par avance.

Et je crois obéir à l'un de ses vœux les plus chers en rappelant ici un projet dont il avait fait part à divers de ses collègues : celui de voir s'organiser toute une série de monographies géologiques consacrées à chacune de nos provinces de France, et analogues à celle dont il nous avait lui-même donné le modèle ;

espérons qu'un tel appel sera entendu et que, là encore, l'inspiration de notre confrère agira par delà la mort.

Mais c'est surtout dans les fonctions de Directeur du Muséum qu'il eut l'occasion de donner toute sa mesure [252]. Nous sortons ici du domaine de la Géologie et touchons à des questions qui ne sont plus du tout de ma compétence. Je me bornerai à constater que, pour l'homme de la rue, pour ceux qui comme moi ne voient que les résultats sans pouvoir juger les méthodes, Paul Lemoine fut celui qui rénova tant de branches d'activité de notre vieille Institution, le créateur de cette œuvre admirable qu'est le Zoo de Vincennes. Nous avons, chez nous, beaucoup de savants probes et consciencieux ; ce qui nous manque, ce sont plutôt des administrateurs à vues larges et lointaines, capables de s'orienter dans le maquis des règlements et des budgets, et dont la volonté, fut-elle même un peu brutalement exprimée, se tend obstinément en vue d'un but pratique et précis.

Paul Lemoine avait toutes ces qualités ; et c'est enfin un devoir pour nous de nous rappeler avec quel dévouement il en avait fait bénéficier notre Société ; il fut deux fois notre Président, en 1923 et en 1936 ; pendant des années, il a siégé dans notre Conseil, apportant à nos confrères le précieux concours de ses initiatives et de son esprit pratique. Dans nos discussions, plus libres et plus familières peut-être parce qu'ils s'agissait d'une Société privée, les manières primesautières et vives de Paul Lemoine ont quelquefois fait jaillir des étincelles ; jamais elles n'ont provoqué de coups de foudre : je me souviens de l'avoir entendu un soir, après d'amicales conversations avec des collègues, se rallier complètement à leur opinion, à laquelle le matin même il avait fait pourtant la plus vive opposition. Cette absolue franchise, cette absence totale de rancune, étaient chez lui la marque d'un esprit vraiment supérieur ; qui ne se laissait guider que par la vérité et par le souci de l'intérêt général. Nul moins que lui ne fut ambitieux, « arriviste », manœuvrier : on serait au contraire tenté de lui reprocher de ne l'avoir pas été assez ; mais, sur le plan des valeurs morales, un tel reproche devient un éloge. Toutes les organisations qu'il a fondées, il en a poursuivi la réalisation avec le plus complet désintéressement ; et s'il a parfois laissé faire quelque bruit autour d'elles, ce n'était point pour le vain plaisir de voir son nom mis en avant, mais parce qu'il jugeait, et avec raison, que la publicité est un ferment nécessaire pour faire aboutir une idée nouvelle.

Quelle meilleure preuve de son désintéressement que son attitude après qu'il eut dû abandonner la Direction du Muséum !

Un ambitieux vulgaire et égoïste se fût découragé, et réfugié dans des polémiques stériles. Pour lui, au contraire, ce changement d'orientation marque un réveil d'activités nouvelles. Il peut dès lors se consacrer entièrement à son cher Bassin de Paris. Les trois volumes qu'il fit paraître alors presque coup sur coup nous révèlent combien chez lui cet amour du sol natal avait des racines profondes, poussées dans chacun ou chacune de ses champs, de ses forêts, de ses sources, de ses puits, de ses rivières, de ses routes, de ses monuments, de ses vieux noms, fruits ou témoins de tant de civilisations diverses. Poète, Paul Lemoine ne le fut certes pas par l'expression verbale ni par l'appel aux symboles ; mais l'évocation de tant de détails accumulés, surgissant les uns du lointain passé géologique, les autres de la vie des rois, des seigneurs, des moines ou des paysans qui laissèrent au cœur de la France le meilleur de leurs âmes, cette évocation finit par donner, dans certaines pages de l'œuvre finale de Paul Lemoine, une impression d'épopée. Ce colonial, cet administrateur, cet homme d'affaires, nous a laissé pour testament, malheureusement inachevé, les premières strophes d'un hymne à l'Ile-de-France.

Mai 1940.

LISTE DES PUBLICATIONS

DE

PAUL LEMOINE

1902

1. Formations géologiques in Diégo-Suarez. Brochure publiée par le Gouvernement général de Madagascar. Tamatave, 1902, p. 19-26.
2. (En collaboration avec M. Camille ROUYER). Note préliminaire sur l'étage Kiméridgien entre la vallée de l'Aube et celle de la Loire. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), II, 1902, p. 104-111.

1903

3. Observations à une note de M. LAMBERT : Sur quelques nouveaux Échinides crétacés de Madagascar. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), III, 1903, p. 88.
4. Sur la géologie de la Montagne des Français, Madagascar. *CR. Ac. Sc.*, t. 136, 2 mars 1903, p. 570-572.
5. L'Extrême-Nord de Madagascar, *Revue de Madagascar*, 10 avril 1903, 31 pages.

6. La région de Diégo-Suarez. *Journal Officiel de Madagascar*, 18 et 22 avril 1903.
7. Rapport sur une mission géologique dans le Nord de Madagascar *Revue Coloniale*, N. série, II, 1902-1903, p. 432-450.

1904

8. Observations sur la bauxite et la latérite. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), IV, 1904, p. 172.
9. Sur la présence de l'Oligocène à Madagascar. *CR. Ac. Sc.*, t. 138, 1^{er} février 1904, p. 311-323.
10. Mission scientifique dans le Nord de Madagascar. *Journal Officiel de Madagascar*, n° 896, 20 avril 1904; n° 897, 23 avril 1904, p. 10.910-10.912, 10.926-10.928, 10.941-10.947.
11. Madagascar. Son histoire géologique. Son avenir agricole et minier. Conférence faite à l'École Coloniale. *Revue de Madagascar*, 10 juin 1904, p. 544-550.
12. (En collaboration avec M. Georges LEMOINE). Étude chimique et géologique de diverses sources du Nord de Madagascar. *CR. Ac. Sc.*, t. 139, 25 juillet 1904, p. 248-254.
13. (En collaboration avec M. Robert DOUVILLÉ). Résultats paléontologiques et stratigraphiques de l'étude des Lépidocyclines. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), IV, 1904, p. 347-350.
14. (En collaboration avec M. Robert DOUVILLÉ). Sur le genre *Lepidocyclina*. *Mém. Soc. Géol. Fr.* (Paléontologie), XII, 1904, p. 1-41, 3 pl.; réimprimé en décembre 1935.
15. (En collaboration avec M. Camille ROUYER). L'étage Kiméridgien entre l'Aube et la Loire. *Bull. Soc. Sc. hist. nat. Yonne*, 2^e sem. 1903, Auxerre, 1904, p. 213-301, 9 figures.
16. (En collaboration avec M. Camille ROUYER). Sur l'allure des plis et des failles dans la Basse-Bourgogne. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), IV, 1904, p. 561-568, pl. XV (carte en couleurs au 320.000^e). Id. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 6 juin 1904.
17. (En collaboration avec M. Louis GENTIL). Sur les gisements calloviens de la frontière marocaine. *CR. Ac. Sc.*, t. 139, 1^{er} août 1904, p. 376-378, et *A. F. A. S.*, Congrès de Grenoble, 1904, Paris, 1905, p. 641-644.

1905

18. Sur le Jurassique d'Analava, d'après les envois du capitaine Colcanap. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), V, 1905, p. 578.
19. (Déterminations paléontologiques), in Colcanap. Notice géologique et paléontologique sur le cercle d'Analava. *Bull. Muséum Hist. nat.*, t. XI, décembre 1905, p. 355.
20. Observations sur le Crétacé d'Analava. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), V, 1905, p. 484.
21. Observations sur l'Éocène de la Nouvelle-Calédonie. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), V, 1905, p. 516.
22. Révision de la feuille de Neufchâtel. *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, XVI, 1905, p. 28-29.
23. Mission dans le Maroc occidental (automne 1904). Rapport au Comité du Maroc. *Bull. Com. Afr. franç.*, 1905, p. 65-92, 141-155, 157-

- 162, 63 fig., photos, coupes et croquis et un volume tiré à part, Comité du Maroc, in-16, 1905, 224 p., 61 fig., 2 pl.
24. Sur la constitution du Djebel Hadid (Maroc occidental). *CR. Ac. Sc.*, t. 140, 6 février 1905, p. 393-394. Reproduit in « Th. Fischer ». *Der Djebel Hadid im südwestlichen Atlasvorland von Marokko. Petermann's Mitteilungen*, LI, 1905, p. 3-6.
25. Observations sur la Géologie du Maroc. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), V, 1905, p. 96.
26. Sur une coupe géologique du Haut-Atlas dans la région du Glaoui. *CR. Ac. Sc.*, t. 140, 6 mars 1905, p. 690-692.
27. Quelques résultats d'une mission géologique dans le Maroc occidental. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), V, 1905, p. 198-200, 1 fig., carte.
28. (En collaboration avec M. Louis GENTIL). Quelques observations sur la Géologie du Maroc. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), V, 1905, p. 755-759.
29. Au Maroc. Le royaume de Marrakech. *La Géographie*, XII, juillet 1905, p. 21-28.
30. (En collaboration avec M. Robert DOUVILLÉ). Remarques à propos d'une note de M. PREVER, sur les Orbitoides. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), V, 1905, p. 58-59. *Id. C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 16 janvier 1905, p. 12-13.

1906

31. Études géologiques dans le Nord de Madagascar. Contribution à l'histoire géologique de l'Océan Indien, in-8°, 520 p., 4 pl., une carte géologique en couleurs, format grand-aigle (thèse de doctorat). Paris, Hermann, 1906, et *Annales Hébert*, t. III.
32. (Déterminations paléontologiques), in COLCANAP. Extrait d'une notice géologique et paléontologique sur le cercle de Maevatanana (Madagascar). *Bull. Muséum Hist. nat.*, 1905, n° 6, p. 513.
33. (Déterminations paléontologiques), in COLCANAP. Sur la Géologie du cercle de Maevatanana (Madagascar). *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), VI, 1906, p. 164-170.
34. Observations sur la nature des dislocations de la région occidentale de Madagascar. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), VI, 1906, p. 171.
35. Sur la présence du Tertiaire récent à Diégo-Suarez, d'après les envois de M. GEAY. *Bull. Muséum Hist. nat.*, 1906, n° 5, p. 338-339.
36. Géologie du Nord de Madagascar. *Bull. Soc. Philom.*, 1906, p. 342-355, une carte en noir.
37. Les relations géologiques anciennes de Madagascar avec les pays voisins. *Rev. de Madagascar*, 11 novembre 1906, p. 986-996, 6 fig.
38. L'état actuel de nos connaissances sur la géologie de Madagascar. Conférence faite à l'École Coloniale, le 22 décembre 1906. *Rev. de Madagascar*, 10 février 1907, p. 92-102.
39. Formations et phénomènes récents dans le Nord de Madagascar. *A. F. A. S.*, Congr. de Lyon, 1906, Paris, 1907, p. 1231-1239, 7 fig.
40. Madagascar. Son avenir agricole et minier. Conférence. *La France colonisatrice*, 1906, n° 25, p. 85-92.
41. (En collaboration avec M. Louis GENTIL). Les fossiles jurassiques du Maroc occidental. *A. F. A. S.*, Congrès de Cherbourg, 1905, Paris, 1906, 3 pl.
42. Quelques observations sur le bord nord du Massif de la Vanoise. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), VI, 1906, p. 423-431; 6 figures.

43. Compte Rendu d'une excursion géologique dirigée aux environs de Rouen, les 8 et 9 avril 1906, par M. le Général JOURDY. *Bull. Soc. Amis Sc. nat. Rouen*, 1906, p. 453-466, pl. I-V.

1907

44. Sur de nouvelles cartes du Nord de Madagascar. *Bull. Soc. Topographie Fr.*, XXXI, 1907, p. 136-140.
 45. Les variations de faciès dans les terrains sédimentaires de Madagascar. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), VII, 1907, p. 30-41, 1 fig., 1 carte.
 46-47. (En collaboration avec MM. BOULE et A. THEVENIN). Les Céphalopodes du Crétacé de Diégo-Suarez. *Annales de Paléontologie*, I, 1906, et II, 1907, 75 pages, 15 planches.

1908

48. (En collaboration avec M. Jules LAMBERT). Sur deux oursins nouveaux du Jurassique inférieur de Madagascar. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), VII, 1907, p. 476-479, 1907, 3 fig., paru en 1908.
 49. A propos de deux livres récents sur la géologie de la Chine. *Bull. Assoc. franco-chinoise*, février 1908, p. 117-124.
 50. Fossiles crétacés de la côte est de Madagascar. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), VII, 1907, p. 480, paru en 1908.
 51. Révision des feuilles de Château-Chinon et d'Autun (terrains sédimentaires à partir du Trias inclusivement) à 1/320.000^e. *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, n° 115, XVII, 1905-1906, p. 71.
 52. Révision de la feuille de Neufchâtel. *Ibid.*, p. 24.
 53. Sur des fossiles éocènes rapportés du Sénégal par M. le Capitaine VALLIER. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), VII, 1907, p. 447-451 (une carte), reproduit dans *Rev. des Troupes colon.*, 1908, p. 655-658.
 54. A propos de quelques problèmes de Biogéographie et de Paléogéographie. *Rev. Scientifique*, t. VII, n° 18, 14 mai 1907, p. 561-564.
 55. Sur la présence d'Astéries dans le Portlandien supérieur du Pays de Bray. *Bull. Soc. Amis Sc. nat. Rouen*, 1907, 2 planches, 3 pages, paru en 1908.
 56. Sur la présence de fossiles marins dans le Néocomien inférieur du Pays de Bray. *Bull. Soc. Amis Sc. nat. Rouen*, 1907, 1 planche, 4 pages, paru en 1908.
 57. Révision de la feuille de Neufchâtel. *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, 1907-1908 (paru en 1908), XVIII, n° 119, p. 51-57 et 3 fig.
 58. Le phénomène de latérisation. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), VIII, 1908, p. 35-38.
 59. La latérisation et ses relations avec la genèse de quelques minerais d'aluminium et de fer et de certains gîtes aurifères des régions tropicales. *C. R. mensuel Soc. Industrie minérale*, 1908, p. 119-125, et *Bull. Industrie minérale*, t. IX, 1908, 37 p., 8 fig. schémas. (En collaboration avec M. Jean CHAUTARD.)
 60. (En collaboration avec M. Jean CHAUTARD). Sur la genèse de certains minerais d'alumine et de fer ; décomposition latéritique. *CR. Ac. Sc.*, t. 145, 3 février 1908, p. 239-242, 1 fig.
 61. A propos des renseignements et des échantillons géologiques rapportés par le Lieutenant LANCRENON, de la région entre Carnot et Laï (Congo). *Bull. Comité Afrique française*, 1908, n° 1, p. 38-40, 3 fig. dont une carte géologique.

62. (En collaboration avec M. Louis GENTIL). Observations sur la Géologie du pays entre l'Oubanghi et le Chari, d'après les échantillons rapportés par M. G. BRUEL. *Bull. Comité Afrique française*, 1908, « Suppl. », p. 98-100, 4 fig. dont une carte.
63. (En collaboration avec M. Jean CHAUTARD). Sur la constitution géologique de quelques points de la Mauritanie, d'après les échantillons rapportés par M. le Capitaine GÉRARD. *La Géographie*, 15 avril 1908, p. 307-309, 2 fig.
64. Les principaux travaux sur la Géologie des colonies françaises en 1908, 28 p., Paris, HERMANN.
65. Sur quelques fossiles du Tilemsi (Soudan). *Bull. Soc. Philom. Paris*, 1909, p. 101-109, 1 pl., reproduit in CORTIER. D'une rive à l'autre du Sahara. Paris, Larose, 1908, 1 fig.
66. Sur les différents niveaux d'alluvions au confluent de l'Yonne et de la Cure. *CR. Ac. Sc.*, t. 145, 25 mai 1908, p. 1122-1125.
67. Les neiges sur les sommets de l'Atlas occidental. *Zeitschrift für Gletscherkunde*, III, 1908, reproduit dans *Ann. Géol. et Min. de la Russie*, 1908, p. 228-234.
68. Les glaciers de l'époque primaire. *Rev. Scient.*, 27 juin 1908, [5°], t. IX, n° 26.
69. (En collaboration avec M. Albert MICHEL-LÉVY). Révision des terrains tertiaires du bord occidental du Morvan. *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, XVIII, 1907-1908 (paru mai 1908), n° 119, pp. 51-58.
70. Sur la présence de Foraminifères d'âge viséen dans les calcaires carbonifères des environs d'Evaux (Creuse) in Albert MICHEL-LÉVY. Les terrains primaires du Morvan et de la Loire. *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, XVIII, octobre 1908, n° 120, voir p. 182.

1909

71. Sur la valeur du rétrécissement produit par les plissements du bassin de Paris. *CR. Ac. Sc.*, t. 149, 13 décembre 1909, p. 1161-1164.
72. Sur les relations tectoniques du tremblement de terre de Provence. *CR. Ac. Sc.*, t. 148, 21 juin 1909, p. 1696-1698, 5 fig.
73. Le tremblement de terre d'Aix-en-Provence du 11 juin 1909. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 21 juin 1909, p. 86-88. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (4), IX, 1909, p. 299.
74. Observations faites sur le tremblement de terre de Provence (11 juin 1909). *Bull. Soc. Philom. Paris* (10), I, 1909, 34 p., 5 fig.
75. (En collaboration avec M. le Capitaine CORTIER). Quelques données sur la Géologie du Sahara et du Soudan. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), IX, 1909, p. 407-415.
76. Le tremblement de terre de Provence. *Rev. Scient.*, 14 août 1909, p. 201-207, fig. 28-30.
77. Conclusions d'ordre géographique tirées de l'étude des Mollusques d'Afrique. *La Géographie*.
78. Coupe du Crétacé de la région de Temassinin d'après les documents du Capitaine Cortier. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 22 novembre 1909, p. 152.
79. Sur l'extension de la craie marneuse aux environs de Foucarmont (Seine-Inférieure). *CR. Ac. Sc.*, t. 148, 24 mai 1909, p. 1430-1432.
80. Sur les plissements souterrains du Gault dans le bassin de Paris. *CR. Ac. Sc.*, t. 149, 29 nov. 1909, p. 1019-1021.

81. Note sur quelques points de la Géologie des environs de la Capelle-Marival (Lot). *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), IX, 1909, p. 129-142, 4 fig.
82. Les plissements de la Lorraine et les recherches de houille. *Rev. Scient.*, 19 déc. 1909, p. 777-780, fig. 129-132.
83. Sur la non-existence d'une mer intérieure à Tombouctou. Observ. à une note de M. CHUDEAU. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), IX, 1909, p. 388.
84. Sur l'âge crétacé de certains terrains sédimentaires du Soudan. Observations à une note de M. GARDE. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), IX, 1909, p. 390-391.
85. Sur le Bois de Vigne, in PARAT. Le Morvan à l'époque jurassique. *Bull. Soc. d'Etudes d'Avallon*, 1909, p. 43, et Observations à propos de cette note. *Bull. Soc. Sc. hist. nat. de l'Yonne*, 5 décembre 1909, p. LXVIII-LXIX.
86. Les phosphates du Pacifique. *Rev. Scient.*, 1909, p. 691.
87. Les données récentes sur la formation du granite. *Rev. Scient.*, 27 février 1909, p. 270-272.

1910

88. A propos de la constitution géologique des environs de Saint-Florentin. *Bull. Soc. Sc. hist. nat. de l'Yonne*, 2^e semestre 1909 (1910), p. 395-408, 5 fig.
89. (En collaboration avec M. Jean COTTEAU). Sur la présence du Crétacé aux Iles Canaries. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), X, 1910, p. 267-270.
90. Le tremblement de terre de Provence. *Ann. de Géographie*, XIX, janvier 1910, p. 15-25.
91. Sur les fossiles de la vallée de l'oued Azaouak (Soudan), envoyés par le Colonel LAPERRINE. *Bull. Muséum Hist. nat.*, août 1910, n° 4, 1 fig., p. 231-233.
92. Les Ammonites du Jurassique supérieur d'Analalava (Madagascar). *Annales de Paléontologie*, V, 1910 et VI, 1911, 52 p., 8 pl., 50 fig.
93. Sur les résultats d'un sondage profond à l'hôtel des Grandes-Dalles (Seine-Inférieure). *Bull. Muséum Hist. nat.*, avril 1910, n° 4, p. 225-230, 16 fig.
94. (En collaboration avec M. le Dr LEGENDRE). Résultats géologiques de la mission LEGENDRE, au Sze-Tchouen. Grandes lignes de la Géologie au pays Lolo. *Bull. Muséum Hist. nat.*, XVI, février 1910, p. 59-62, pl. IV (1 carte), et *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), X, 1910, p. 307-309, 1 carte.
95. Les nouveaux bassins houillers hollandais au Nord de la Campine. *Rev. Scient.*, 18 juin 1910, p. 785-788, fig. 80, 81.
96. Les crues de la Seine. *La Nature*, 5 fév. 1910, n° 1915, p. 145-156, 35 fig.
97. La crue de la Seine en 1910 ; ses causes, son mécanisme (en collaboration avec M. J. LOISEL). *La Nature*, 9 avril 1910, n° 1924, p. 291-301, 18 fig.
98. Résultats géologiques des sondages profonds du Bassin de Paris. *Bull. et C. R. mensuel Soc. Industrie minière*, [4], t. XII, avril 1910, p. 367-465, 1 fig.
99. (En collaboration avec M. MARTEL). Le puits artésien de Maisons-Laffitte et la limitation des débits artésiens. *La Nature*, n° 1918, 26 février 1910.
100. Traité pratique de Géologie. Paris, HERMANN, 490 p., 187 fig., 64 pl., 1910.
101. La succession des flores dans le Massif Central à l'époque tertiaire. *Rev. Scient.*, 29 oct. 1910, p. 554-558.

1911

102. Madagascar. *Handbuch der regionalen Geologie*, vol. VII, fasc. 4. Heidelberg, 1911, 43 p., 11 fig. (Texte en français).
103. Géologie du Bassin de Paris. Paris, HERMANN, 1911, 408 p., 9 cartes, 136 fig.
104. Traduction du Chapitre XII (Altaïdes africaines) de Suess. La face de la Terre (Édition française), p. 663-692. Paris, A. COLIN, 1911.
105. Sur la nature récifale du calcaire pisolithique de Vigny et de Montainville (Seine-et-Oise). *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 15 mai 1911, p. 96-97. Observations de M. G.-F. DOLLFUS.
106. Afrique occidentale. *Handbuch der regionalen Geologie*, VII, 6, p. 1-80, 1 pl. hors texte (Texte en français), 14 fig., 1911.
107. L'évolution des minerais de fer oolithiques. *Rev. Scient.*, 28 janvier 1911, p. 109-115.

1912

108. Excursion de la Société Géologique à Vigny et à Meulan (Seine-et-Oise). *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1912, p. 53 et *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (4), XII, 1912, p. 649-660 (9 fig., 1 carte), et 668-672.
109. Sur l'existence d'une pépite d'or aux environs d'Evaux. *A. F. A. S. Congrès de Nîmes*, 1912, p. 121.
110. L'époque quaternaire. *Rev. Scient.*, 21 septembre 1912, p. 353-359.
111. Les Ripple-marks. *La Nature*, n° 2048, 24 août 1912, p. 204-206, 2 fig.
112. Observations à une communication de M. FONT-Y-SAGUE, sur le Rio de Oro. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XI, 1911, p. 217 (paru en 1912).
113. Sur l'existence d'une faille à Château-Landon. *A. F. A. S. Congrès de Nîmes*, 1912, p. 262-266.
114. (En collaboration avec M. C. ROUYER). Position stratigraphique de l'horizon coralligène de Gland (Yonne). *Bull. Soc. Sc. hist. nat. de l'Yonne*, 2^e sem. 1911 (paru en 1912), p. 75-86, 4 fig.
115. (Sur la nomenclature des étages du tertiaire du Bassin de Paris). *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1912, p. 148, et *Bull. Soc. Géol. Fr.*, p. 795.
116. (Sur le poudingue de Nemours). *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1912, p. 129.
117. Les tremblements de terre du Bassin de Paris. Leurs relations avec les accidents tectoniques. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 18 décembre 1911, et *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XI, 1911 (paru en octobre 1912), p. 341-412, 55 fig. Voir aussi *Revue générale des Sciences*, 30 janvier 1913, p. 54-59, fig. Voir aussi : Le tremblement de terre du 16 novembre 1911. *La Nature*, n° 2011, 9 décembre 1911, et *Bull. Soc. Sc. hist. nat. de l'Yonne*, décembre 1912.
118. Feuille Géologique de Neufchâtel-en-Bray (n° 20), 1/80.000^e, publiée par le Service de la Carte Géologique de la France, 1910 (1912).
119. (Observations sur le problème de la dolomitisation dans le Bassin de Paris). *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 2 septembre 1912, p. 140, et *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XII, p. 756.
120. Sur la présence probable de roches anciennes dans les alluvions de la Marne, à Chelles. *A. F. A. S. Congr. de Nîmes*, 1912, p. 335-337.
121. Sur l'existence de lambeaux de Calcaire de Brie sur les sommets de Moronvilliers. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1912, p. 142, et *Bull. Soc. Géol. Fr.*, XII, p. 761.

122. (En collaboration avec M. J. LAURENT). Les lignes tectoniques de la Champagne. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1912, p. 174, *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XII, 1912, p. 631-642 (5 fig., carte).
123. La Géologie du fond des Mers (Manche et Atlantique Nord). *Ann. de Géographie*, t. XXI, n° 420, 15 novembre, p. 385-392, 1912, 2 fig.
124. La Géologie du Ouaddaï (en collaboration avec le Capitaine ARNAUD). *Bull. Comité Afrique française*, août 1911, p. 280-284, *A. F. A. S.*, Dijon, 1911, p. 352-355, 3 fig. (paru en 1912), et *Bull. Muséum Hist. nat.*, novembre 1911, n° 6, 4 p., 3 fig.
125. Sur quelques points de la Géologie des terrains superficiels de la région entre Cosne et Clamecy (Nièvre). *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 3 juin 1912, n° 12, p. 88-90.
126. Sur les principales modifications apportées en 2^e édition à la feuille géologique de Neufchâtel-en-Bray. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 3 juin 1912, p. 90-91.
127. In JODOT. Sur la présence d'un bassin lacustre bartonien aux environs de Cosne. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 3 juin 1912, p. 86-88.
128. Découverte d'un niveau à Hélices et Lymnées, p. 195. In DE GROS-SOUVRE et STEHLIN, Les Sables de Rosières, près Saint-Florent (Cher). *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XII, 1912, p. 194-198.
129. *Ammonites Cymodoce*, n° 55; *Belemnites latus*, n° 114; *Cardium Protei*, n° 174; *Strombus Ponti*, n° 175; *Strombus Oceani*, n° 176; *Gryphæa angustata*, n° 200; *Gryphæa lituola*, n° 201; *Ostrea penaria*, n° 202; *Tornatella Dormoisiana*, n° 221; *Tornatella acuta*, n° 222; *Scaphites Yvani*, n° 257; *Paleontologia Universalis*, 1904-1912.
130. Auguste MICHEL-LÉVY. *Bull. Soc. Sc. nat. Saône-et-Loire*, 1^{er} trim. 1912, 7 pages.
131. Les phénomènes d'érosion dans l'île de Délos. *La Nature*, 21 sept. 1912, p. 269-272, 3 fig.

1913

132. (En collaboration avec M. Emm. DE MARGERIE). Traduction de SUSS. *La Face de la Terre*, chap. XVII. Cassures africaines. Montagnes du Cap, p. 957-1001; chap. XVIII, Océanides, p. 1002-1065, Paris, A. COLIN, 1913.
133. (En collaboration avec M. P. JODOT). Sur l'existence d'une faille sur la rive droite de la Loire à hauteur de Cosne. *C. R. Ac. Sc.*, t. 157, p. 454, 8 septembre 1913.
134. (En collaboration avec MM. DE LAUNAY et Paul JODOT). Feuille de Bourges au 1/320.000^e. *Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*; *C. R. des Collab. pour 1912*, n° 133, t. XXII, 1912, mai 1913, 12 p.
135. Quelques observations sur la baguette divinatoire. *Bull. Soc. Philom.*, 10^e sér., t. V, n° 1, 2, 1913, 31 p., 10 fig.
136. (Sur l'indépendance des bandes de grès de Fontainebleau et des axes tectoniques). *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XIII, 1913, p. 442-443.
137. (Observations à propos d'une note de M. le Général JOURDY sur la dolomitisation). *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1913, p. 205.
138. La dolomitisation des roches du Bassin de Paris. *Rev. Scient.*, 51^e année, 15 février 1913, p. 240-241.
139. Liste des travaux de G. F. DOLLFUS. *C. R. des Collab. Serv. Carte Géol. Fr.*, Paris, 1913, 9 pages.

1914

140. L'état actuel du problème de la baguette divinatoire. *Biologica*, n° 39, p. 79-83, 15 mars 1914.
141. Les Puys d'Auvergne. *Rev. Scient.*, 18 juillet 1914, p. 77-81, 4 fig.
142. Le Quaternaire marin des côtes de la Méditerranée. *Rev. Scient.*, 4 avril 1914, p. 430-434.
143. La Géologie profonde du Pays de Caux. *A. F. A. S.*, Congrès du Havre, 1914, p. 391-398, 1 carte.

1916

144. (En collaboration avec MM. COTTREAU, GROTH, JODOT, LECOINTRE. Méthodes nouvelles de détermination en Paléontologie. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1916, p. 31.
145. Mission A. F. LEGENDRE. Massif Sino-Thibétain, Paris, Larose, 1916, p. 1-249, 12 pl. en phototypie, 2 cartes en noir, 3 cartes en couleurs. Description géologique des itinéraires par le Dr A.-F. LEGENDRE et P. LEMOINE, p. 25-175, 2 pl., 3 cartes géologiques en couleurs au 1/500.000°. Note sur la carte jointe à ce travail, par Paul LEMOINE, pp. 177-200. Animaux par Paul LEMOINE, p. 230-232, pl. XI et XII.
146. La Géologie souterraine du Sud de l'Angleterre. *Bull. Soc. Philom.* (X), VIII, 1916, p. 25-39, 5 fig.
- 146 bis. Jean BOUSSAC. *Rev. Scient.*, 54^e année, n° 18, 1916, p. 572.
- 146 ter. Jean GROTH. *Rev. Scient.*, 54^e année, n° 21, 28 octobre 1916, p. 668.

1918

147. Canevas d'ensemble de la Haute-Alsace (Secteur Sud, Section Centre, Section Nord). Canevas d'ensemble des Vosges (Secteur HARTMANN). Canevas d'ensemble du Camp du Valdahon.

1921-1922

148. La chaire et les collections de Géologie du Muséum, leur histoire, leur avenir. *Rev. Scient.*, 1921, 14 mai, 30 pages.
149. Rapport sur l'attribution du prix Prestwich à M. LERICHE. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1921, p. 94 (1922).
150. Observations à propos de la présence de *Natica crassatina* à Cormeilles-en-Parisis. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 26 juin 1922, p. 158.
151. La Seine et l'Yonne. Complexité du mouvement des vallées. *Bull. Soc. Sc. hist. et nat. de l'Yonne*, 1922, XLVII-XLVIII.
152. Observations sur le Bartonien de la région de Marines. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1922, n° 14, p. 172-173.
153. (En collaboration avec A. PINARD). Sur le mode de contact de la craie et du calcaire pisolithique à Meulan-Gaillon (Seine-et-Oise). *CR. Ac. Sc.*, t. 175, 23 octobre 1922, p. 702, 2 fig.
154. (En collaboration avec M. R. ABRARD). Contribution à l'étude géologique du fond de la Manche d'après les documents du Dr J.-B. CHARCOT. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XXII, p. 3-9, 1 carte, 1922.
155. Observations sur le calcaire pisolithique de Vertus et du Mont-Aimé

- (Marne). (En collaboration avec MM. JODOT, JOLEAUD, TEILHARD DE CHARDIN). *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XXII, 1922, p. 164-176, paru en 1923, 6 fig.
156. (En collaboration avec M. René ABRARD). Sur l'existence du Crétacé supérieur dans la fosse centrale de la Manche, d'après les dragages du *Pourquoi-Pas ?* *CR. Ac. Sc.*, t. 174, 1922, p. 223-225, 1 carte.
157. (En collaboration avec M. R. ABRARD). Sur l'âge du gisement de Fontenay-Saint-Père (Seine-et-Oise), 26 juin 1922. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1922, n° 13, p. 152-153.
158. (En collaboration avec M. A. PINARD). Sur la coupe de l'Éocène inférieur à Guitrancourt (Seine-et-Oise). *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XXII, 1922, p. 142-144, 2 fig.
159. Le Port submergé de Pharos près d'Alexandrie. *Rev. Scient.*, 9 décembre 1922.

1923

160. Allocution présidentielle. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 22 janvier 1923, p. 4-10.
161. Sur la valeur du synchronisme des étages géologiques. *C. R. somm. Soc. Biogéographie*, 1923, p. 120-121.
162. (En collaboration avec M. TEILHARD DE CHARDIN). Les gros blocs quaternaires du port de Bonneuil. *La Nature*, 28 avril 1923, p. 272, 2 fig.

1924

163. Allocution présidentielle. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 21 janvier 1924, p. 4-6.
164. Le rôle des Amateurs en Géologie. *Feuille des Naturalistes*, n° 1, mars 1924, p. 3-7.
165. Allocution présidentielle à l'Assemblée générale. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 12 juin 1924, n° 12, p. 104-106.
166. (En collaboration avec M. G. LECOINTRE). Sur les Graptolithes gothlandiens de la Guinée française. *A. F. A. S.*, 1924, p. 387-388.
167. Origine et but de la Société de Biogéographie. *C. R. S. Soc. de Biogéographie*, 1924, n° 2, p. 3-4, et *Rev. Scient.*, 1924, n° 7, p. 215.
168. Observations à une communication de M. LESNE (migrations des Bostrychides). *C. R. S. Soc. de Biogéographie*, 1924, n° 4, p. 23.
169. Observations à une communication de M. PETIT (Époque de la différenciation des Siréniens). *C. R. somm. Soc. de Biogéographie*, 1924, n° 6, p. 38.
170. Observations à une communication de MM. BERLAND et GUILLAUMIN (Age de la faune et de la flore de la Nouvelle-Calédonie). *C. R. somm. Soc. de Biogéographie*, 1924, n° 5, p. 29.
171. L'eau potable à Paris et dans la banlieue. *Rev. Scient.*, 10 mars 1924, et *L'Eau*, 1924.
172. Les Églises françaises bâties sur des sources. *Feuille des Naturalistes*, 3 mai 1924, p. 55 ; décembre 1924, p. 167-168.
173. Sur l'extension des marnes infragypseuses sous la Brie. *C. R. Congrès Soc. Sav. Section des Sciences*, 1923 (1924), p. 171-178, 1 fig.
174. Observations à une communication de M. G.-F. DOLLFUS. Les inondations de Paris. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 17 mai 1924, p. 46-47.

1925

175. Sir Archibald Geikie. *Revue Générale des Sciences*, n° 1, 15 janvier 1925.
176. Les lois de l'Évolution du Globe. *Bull. Scient. de l'Assoc. des Élèves des Écoles spéciales*. Liège, 1925, p. 216-239.
177. Sur les localisations d'espèces en Corse et en Sardaigne. *C. R. somm. Soc. de Biogéographie*, 1925, n° 8, p. 58.
178. (En collaboration avec M. JOLEAUD). Sur le non-isolement de la Corse et de la Sardaigne au Quaternaire. *C. R. somm. Soc. de Biogéographie*, 1925, n° 10, p. 71.
179. (En collaboration avec M. JOLEAUD). Constitution géologique et relations paléogéographiques de la Corse. *C. R. somm. Soc. de Biogéographie*, 1925, n° 12, p. 87-90.
180. A propos des espèces à répartition discontinue. *C. R. somm. Soc. de Biogéographie*, 1925, n° 10, p. 68.
181. Observations à une communication de M. L. GERMAIN (Age de la faune de l'Île de Sainte-Hélène). *C. R. somm. Soc. de Biogéographie* 1924, n° 3, p. 12-13.
182. A propos de la feuille de Paris, 3^e édition. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1925, p. 147-149.
183. Observations sur les chaillies du Nivernais. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1925, p. 63.
184. (En collaboration avec M. JOLEAUD). Sur la liaison et la distribution géographique d'un animal et des êtres en rapport avec lui. *C. R. somm. Soc. de Biogéographie*, 1925, n° 10, p. 72.

1926

185. Sciences naturelles; Géologie de la classe de 4^e. Paris, DELAGRAVE, 1926, 213 pages, 212 fig. (3 éditions).
186. STANISLAS MEUNIER. *Bull. Soc. Natur. et Arch. de l'Ain*, n° 40, janvier 1926, 6 pages, 1 portrait.
187. Rapport sur l'attribution du Prix GOSSELET à MM. L. BARRABÉ et P. VIENNOT. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 17 mai 1926, p. 101-102.
188. Les provinces zoologiques à la fin de l'époque jurassique. *C. R. somm. Soc. de Biogéographie*, n° 19, 19 mars 1926, p. 17-19.
189. Sur la présence du *Palaeotherium magnum* CUVIER, dans le calcaire de Saint-Ouen (en collaboration avec M. R. ABRARD). *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XXVI, 1926, p. 3-9, 1 fig., 1 pl., 1926.
190. Le problème de l'École rurale, A. F. A. S., Lyon, 1926, p. 756-757.
- 191-192. (En collaboration avec M. JOLEAUD). Aperçu géologique (sur la Corse). In Histoire du peuplement de la Corse. *Bull. Soc. Sc. Hist. nat. Corse*, 45^e année, 2^e trimestre. Bastia, 1925, paru 1926; *id. Soc. de Biogéographie*. Paris, Lechevalier, 1926, p. 23-28.
193. Les relations paléogéographiques de la Corse. (En collaboration avec M. L. JOLEAUD). *Bull. Soc. Sc. Hist. nat. Corse*, 45^e année, 2^e trim., Bastia, 1925, paru 1926; *idem*, *Soc. de Biogéographie*. Paris, Lechevalier, 1926, p. 251-252, 6 cartes.

1927

194. Pour orienter les recherches. Conseils d'un Géologue. La Géologie sur 7 octobre 1942. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (5), XI. — 12

- le terrain. *Bull. Soc. d'Études hist. et géogr. région parisienne*, n° 4, mai 1927, p. 4-10.
195. Conceptions modernes sur la constitution et l'évolution du globe terrestre. *Bull. Assoc. amicale des anciens élèves des Écoles normales de l'Aube*, n° 3, 1927, p. 11-24.
196. Rapport hydrogéologique sur l'alimentation en eau du Service des Eaux de Versailles, 1926.
197. Rapport sur l'attribution du Prix Fontannes à M. R. ABRARD. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1927, p. 93-95.
198. Discours d'introduction à l'Académie des Sciences coloniales. *Proc.-Verb. Séances Acad. Sc. Colon.*, fasc. V, p. 2-5, 21 déc. 1927.
199. Observations sur le relief terrestre (à propos d'une communication de M. SOULIER). *Bull. Assoc. Géogr. français*, n° 4, p. 6, 2 janvier 1927.
200. Géologie de la République d'Haïti (d'après WOODRING-BROWN et BURBANK). *Revue Générale des Sciences*, fév. 1927 (Étude de la concordance de la nomenclature stratigraphique américaine avec la nomenclature française).
201. (En collaboration avec MM. ABRARD et JOLEAUD). Sur les conditions de gisement du Montien de Port-Marly (Seine-et-Oise). *CR. Ac. Sc.*, t. 185, p. 391-393, 1 fig., 8 août 1927.

1928

202. Volcans et tremblements de terre, in-8, 186 p., 23 pl., 33 fig., Paris, Hachette.
203. Sur la répartition géographique de *Cylindroteuthis*. *C. R. somm. Soc. de Biogéographie*, 1928, n° 39, p. 46-48.
204. Les puits artésiens de la région de Creil. *Bull. Muséum Hist. nat.*, n° 4, 1928, p. 284-294.

1929

205. (En collaboration avec M. René ABRARD). Les rapports entre la craie et le calcaire pisolitique à Vigny. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 15 avril 1929, p. 84, 1 fig. Obs. de M. SCHOELLER.
206. La Géologie de la Basse-Vallée du Loing, d'après le récent travail de M. DENIZOT. *Bull. Assoc. naturalistes de la Vallée du Loing*, XII, 1929, p. 38-49, 1 fig.
207. Observations à la suite d'une communication de M. FINATON. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1929, p. 158.
208. La Géologie souterraine de la région entre Meaux et Villiers-Cotterets. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1929, p. 86. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XXIX, 1929 (paru 1930), p. 433-462, 5 fig.
209. (En collaboration avec M. NASSANS). La température des eaux profondes de la région parisienne. *Bull. Muséum Hist. nat.*, 2^e série, t. I, n° 4, p. 264-280, 1929.
210. Superposition d'un anticlinal tertiaire à un synclinal crétacé. *CR. Ac. Sc.*, t. 188 (25 mars), 2 avril 1929, p. 964-967, 1 fig.
211. (En collaboration avec M. BOURSALT). Sur la constitution du Tertiaire inférieur sous la région de Senlis. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XXIX, 1929 (paru 1930), p. 427-434, 1 fig.
212. L'orientation professionnelle et l'enseignement secondaire in *L'apprentissage et l'orientation professionnelle*, n° 13, juin 1929.

1930

213. Sur l'importance du lambeau pliocène de Culan (Cher). *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), t. XXX, 1930, p. 433-435, 1 fig., 1931.
214. Considérations sur la structure d'ensemble du Bassin de Paris. *Livre jubilaire. Centenaire Soc. Géol. Fr.*, Paris, 1930, p. 481-498, pl. XLIX et L.
215. Liste complémentaire des sondages profonds du Bassin de Paris. *Bull. Muséum Hist. nat.* (2), t. II, n° 4, 1930, p. 433-464.
216. Excursion de l'Île-de-France, *Bull. Soc. Géol. Fr.* (4), XXX, 1930, p. 1279-1282.
217. Bibliographie des Sciences Géologiques pour 1929, 4 fasc., septembre 1929 à mars 1931, 269 pages.

1931

218. Résultats géologiques et hydrogéologiques d'un forage au Muséum national d'Histoire naturelle (Géologie). *CR. Ac. Sc.*, t. 192, 1931 (16 fév., 23 fév.), p. 493-495, et *Bull. Muséum Hist. nat.*, 16 fév. 1931, 2^e série, t. III, n° 2, p. 273-280.
219. Le Globe et la Vie. *Cahiers rationalistes*, p. 6-11.
220. L'Évolution du Globe. Conférences faites à la station radio-téléphonique de l'École supérieure des Postes et Télégraphes et à la Tour Eiffel, les 18 mars et 8 avril 1930. *Bull. de l'A. F. A. S.*, n° 87, janvier 1931, p. 178-190.
221. Une interview au poste radiophonique des P.-T.-T., 15 décembre 1931.
222. Rapport sur l'attribution du Prix GOSSELET à M. DOLLÉ. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, n° 12, 1931, p. 149-153.
223. Bibliographie des Sciences Géologiques pour 1930, 2^e série, t. I, juin 1931, 319 pages.

1932

224. Le rôle national du Muséum. *Bull. Muséum Hist. nat.*, 2^e série, t. IV, n° 2, 1932, p. 144-150.
225. Bibliographie des Sciences Géologiques pour 1931, 2^e série, t. II, avril 1932, 432 pages.
226. Carte géologique d'une commune. *École libératrice*, 29 octobre 1932, p. 119-120, 4 fig.

1933

227. (En collaboration avec MM. HUMERY et SOYER). Sur la présence du Crétacé inférieur sous la région parisienne. *Bull. Muséum Hist. nat.*, 2^e série, VI, 5, 1933, p. 501-503.
228. Bibliographie des Sciences Géologiques pour 1932, 2^e série, t. III, avril 1933, 336 pages.
229. La protection de la Nature. Comment l'obtenir. Réserves naturelles et Parcs d'Acclimatation. *C. R. somm. Soc. de Biogéographie*, 1933, n° 79¹.

1. A la suite de cette communication, la Société de Biogéographie a publié un volume entier : Contributions à l'étude des Réserves naturelles et des Parcs nationaux. Paris, LE CHEVALIER, 1937, 267 pp., 47 pl.

230. Rapport sur les roches rencontrées dans la tranchée au Sud de la gare de Lillebonne, mars 1933.

1934

231. Discours présidentiel. A. F. A. S., Congrès de Rabat, 28-30 mars 1934, p. 10-13.
232. Les variations d'épaisseur des sédiments tertiaires sous Paris. *C. R. somm. Soc. Géol. France*, 1934, p. 177-178.
233. (En collaboration avec MM. HUMERY et SOYER). Sur l'appauvrissement de la nappe des sables verts de la région parisienne. *CR. Ac. Sc.*, t. 198, 1934, p. 1870-1872.
234. Discours présidentiel, Société de Médecine publique et de Génie sanitaire. *Le Mouvement Sanitaire*, 1934, p. 77-82.
235. Allocution au Congrès d'Hygiène. *Le Mouvement Sanitaire*, Paris, 1934, t. XI, n° 126, p. 508-512.
236. Depuis quand la Terre est-elle ce qu'elle est ? *Bull. Soc. Astronomique de France*, 1934, p. 331-340.
237. (En collaboration avec MM. HUMERY et SOYER). La découverte du Wealdien sous la région parisienne. *CR. Ac. Sc.*, t. 199, 2^e semestre, 26 décembre 1934, p. 1633-1635.
238. Bibliographie des Sciences Géologiques pour 1933, 2^e série, t. IV, avril 1934, 388 pages.

1935

239. Discours présidentiel. Société de Médecine publique et Génie Sanitaire, 23 janvier 1935. *Le Mouvement Sanitaire*, 12^e année, n° 129, p. 33-36, janvier 1935.
240. *Feuille de Bourges*, au 1/320.000^e. (Assemblage de 46 feuilles au 1/80.000^e.) *Serv. Carte Géol. Fr.*, n° 18, 1935.
241. *Le Muséum National d'Histoire Naturelle*. Son histoire. Son état actuel. *Archives du Muséum nat. d'Hist. nat.*, 6^e série, XII (volume du Tricentenaire), pp. 1-79, 18 fig. (photos), 2 tableaux hors texte.
242. Le Muséum National d'Histoire Naturelle et son développement en 1934. *Rev. scient.*, 11 mai 1935.
243. (En collaboration avec MM. HUMERY et SOYER). Un projet de sondage très profond dans la région parisienne. *L'Eau*, 1935, n° 6, 8 pages, 4 figures.
244. National Museum of Natural History (Le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris). *Natural History Magazine*, V, n° 33, janvier 1935, p. 4-19, 14 fig.
245. Observations sur les Sables de Chars. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, janvier 1935, p. 13.
246. Bibliographie des Sciences Géologiques pour 1934, 2^e série, t. V, avril 1935, 342 pages.

1936

247. Le Rôle éducateur des Sciences Naturelles, *Famille et Lycée*; mars 1936, p. 10-13 (Discours prononcé à l'Assemblée Générale de l'Association des Parents d'Elèves du Lycée Henri-IV).

248. Le rôle colonial du Muséum, *La Terre et la Vie*, n° 1, 1936, 16 p., 9 fig.
249. Discours présidentiel. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, fasc. 1, 2, 6-26 janvier 1936, p. 7-9.
250. Observations du Président à une note de M. Jean GOGUEL. (Texte soumis au Conseil de la Société). Sur quelques applications récentes de la photographie au lever et à l'établissement des cartes géologiques. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 1936, p. 146-147. Nécessité de cartes géologiques en couleurs. Insuffisance des crédits de la Carte géologique de la France. (A la suite de cette intervention, les crédits ont été relevés).
251. Allocution. Hommage à Sir Robert MOND, à l'occasion de sa promotion au grade de Commandeur de la Légion d'Honneur. *Chimie et Industrie. Paris*, 1936, p. 3.
252. Mon œuvre au Muséum National d'Histoire Naturelle, pendant 5 ans de direction (1932-1936). Paris, MAULDE et RENOU, 1936, 20 pp.
253. Bibliographie des Sciences Géologiques, pour 1935, 2^e série, t. VI, avril 1936, 294 pages.

1937

254. Discours présidentiel. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, fasc. 1, 18 janvier 1937, p. 4-6.
255. Les puits artésiens. Conférence faite à la station radiotéléphonique des P.-T.-T., le 12 janvier 1937. *Sciences, Bull. de l'A. F. A. S.*, p. 93-96.
256. La température des eaux souterraines. Conférence faite à la station radiotéléphonique des P.-T.-T., en février 1937. *Sciences, Bull. de l'A. F. A. S.*, p. 257-260.
257. Bibliographie des Sciences Géologiques pour 1936, 2^e série, t. VII, 371 pp., avril 1937.
258. Le Buis dans l'Île-de-France, d'après la Toponymie. *Société de Biogéographie*, mai 1937, publiée par les soins de l'A. F. A. S., Congrès de Paris in *Sciences* 1937, n° 15, p. 12-21, octobre 1937.
- 259-260. L'Île-de-France. Étude géologique, topologique et morphologique. *Mém. Muséum Hist. nat.*, Introduction; 1^{re} partie : Topologie, *Mém. Mus.*, t. V, fasc. I, 235 p., 46 fig., août 1937; 2^e partie : Étude géologique et morphologique des différentes régions de l'Île-de-France; chapitre I. Le Vexin français. *Mém. Mus.*, t. V, fasc. 2, p. 267-354, fig. 48-61, octobre 1937.
261. Encyclopédie française. Tome V, *les Êtres Vivants*, sous la direction de MM. Paul Lemoine, René Jeannel, Pierre Allorge, par Paul LEMOINE : Introduction générale, p. 5.06-3 à 5.06-6; les méthodes de la paléogéographie, p. 5.58-3 à 5.58-4; origine de certains peuplements actuels, p. 5.72; Conclusions générales : I. Que valent les théories de l'évolution, p. 5.82-3 à 5.82-8; II. Le problème de l'origine de la vie, p. 5.82-9 à 5.82-11. Novembre 1937.
262. Allocution présidentielle. Assemblée générale. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, 7 juin 1937, p. 139-142.
263. Rapport géologique au XIII^e Congrès International des Architectes de Rome. *Le Monde Souterrain, groupe d'Études du Centre Urbain Souterrain*, Paris, Massinet et C^{ie}, 1936-1937, p. 62. (Nécessité que le tréfonds, à partir d'une certaine profondeur, soit déclaré propriété d'État.)
264. Comment apparaissent les variations, 13 mars 1937.

1938

- 265. (En collaboration avec MM. HUMERY et SOYER). Les sondages artésiens profonds du Bassin de Paris. *Mém. Muséum Hist. nat.*, 700 p. 1 carte.
- 266. (En collaboration avec M. R. SOYER). Carte géologique détaillée du département de la Seine au 1/20.000^e Région du S-E. 1^{re} éd. 1937.
- 267. Qu'est-ce que l'adaptation ? Interview au poste radio-téléphonique des P.-T.-T., 11 décembre 1937.
- 268. L'âge et les conditions du dépôt du calcaire pisolitique. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, VII, 1937, p. 283.
- 269. La nécessité d'un programme d'urbanisme souterrain à grande profondeur. 1^{er} Congrès International d'Urbanisme souterrain, 1^{re} Section, Rapport n° 1, Paris, 1937.
- 270. L'Ile-de-France. Chapitre II. Pays du Nord-Ouest de l'Oise. *Mém. Mus. Hist. nat.*, n^{elle} série, t. V, fasc. 3, p. 355-442, 7 fig.
- 271. Le tremblement de terre du 11 juin 1938 à Paris. *La Nature*, 1^{er} juillet 1938, p. 19-20.
- 272. Les noms de lieux de l'Ile-de-France. Ce qu'ils nous apprennent sur l'état ancien de la Gaule. *La Terre et la Vie*, 8^e année, n° 2, mars-avril 1938.

1939

- 273. L'Ile-de-France. Chapitre III. Valois et Multien. *Mém. Mus. Hist. nat.*, n^{elle} sér., t. VII, fasc. 1, 173 pages, 24 fig., mars 1939.
- 274. Léonce JOLEAUD, notice nécrologique. *Bull. Soc. Géol. Fr.* [5], IX, 1939, p. 267-305, un portrait.
- 275. (En collaboration avec MM. PRUVOST et R. SOYER). Rapport au Comité du Tunnel mixte sous le Pas-de-Calais sur la structure géologique du détroit entre le cap Gris-Nez et Folkestone. *G. E. C. U. S.*, mars 1940, n°s 41-42.

1940

- 276. (En collaboration avec M. P. JODOT). Région au Sud de Cosne entre la Loire et le Nohain. *Bull. Serv. Carte géol. France* (à l'impression).
 - 277. *Idem*. Feuille de Clamecy au 1/80.000^e.
 - 278. (En collaboration avec MM. P. PRUVOST et R. SOYER). Étude de la Géologie souterraine du Pas-de-Calais. *Le Monde souterrain*, 1940.
-

OBSERVATION D'UN « FRONT » DE MÉTAMORPHISME RÉGIONAL

PAR **René Perrin** ET **Marcel Roubault**¹.

PLANCHES IV et V.

Dans son article « Le métamorphisme générateur de plissement » René Perrin² indiquait, en 1935, en s'inspirant des théories sur le Métamorphisme par réaction dans le solide et à la suite de quelques observations :

1° qu'il pouvait exister des « arrêts brusques » du métamorphisme régional et que certains terrains pouvaient opposer une barrière à sa propagation. Le Trias lui semblait avoir joué effectivement ce rôle en certains points dans les Alpes (p. 14 et 15) ;

2° p. 33 « le repos d'un terrain sédimentaire sur une roche cristalline plissée, en stratification discordante par rapport à la schistosité de celle-ci, ne prouve nullement que cette roche ait été formée et plissée antérieurement au dépôt du sédiment ». Enfin, il recommandait (p. 32), avant de tirer toute conclusion de l'absence de métamorphisme de contact en particulier, d'observer de très près les modifications, soit de la roche cristalline, soit du terrain sédimentaire, soit de l'ensemble au voisinage du contact, toute modification étant présomption de passage métamorphique.

Les idées ainsi exposées paraissant, *a priori*, extrêmement audacieuses, il nous a paru utile d'approfondir des cas particuliers.

Le présent article intéresse le contact ouest des schistes cristallins du massif du Beaufortin, situé entre les vallées de l'Arly et de l'Isère avec un terrain constitué d'un conglomérat de galets roses de quartz, à éléments de dimensions variables et à fond gréseux³. Ce conglomérat très reconnaissable s'observe en particulier à Flumet, aux Mollières d'Ugine, à Venthon, dans la

1. Note présentée à la séance du 5 mai 1940.

2. René PERRIN. Le Métamorphisme générateur de plissement. *Annales des Mines*, Paris, octobre 1935.

3. L'étude géologique d'ensemble de cette région a été faite par E. Ritter : La Bordure Sud-Ouest du Mont Blanc (Les plis couchés du Mont Joly et de ses attaches). *Bull. Carte Géol. Fr.*, n° 60, tome IX, avril 1897.

vallée de l'Arly. E. Ritter l'a attribué au Trias, à Flumet ; aux Mollières, il y a deux couches de conglomérats, séparées par une couche sans galets. René Perrin a émis, dans l'article précité, l'hypothèse que le conglomérat attribué au Carbonifère, de galets de schiste dans pâte de schiste, résultait du métamorphisme de ce conglomérat quartzeux, hypothèse que nous avons également l'intention d'approfondir.

De toute façon, une chose est certaine : l'ensemble de ces couches est parfaitement concordant sous les terrains mésozoïques sus-jacents ; l'analogie d'autre part est grande avec les arkoses triasiques si souvent superposées au cristallin dans les massifs qualifiés d'autochtones dans les Alpes Suisses ou Françaises.

A première vue, ce conglomérat apparaît visiblement en de nombreux points, comme un terrain purement sédimentaire, non atteint par le métamorphisme, et reposant sur les schistes cristallins sous-jacents dont la formation, en tant que schistes cristallins, apparaît ainsi nettement antérieure. A Flumet, il y a

discordance angulaire extrêmement nette entre la schistosité de ceux-ci et les strates du conglomérat. Aux Mollières et à Venthon, il y a, au contraire, plutôt concordance d'ensemble avec discordances de détail.

Quant aux schistes cristallins, ils font partie de l'ensemble des schistes du Beaufortin, observables sur des dizaines de kilomètres : il s'agit bien de ce que l'on appelle indiscutablement un ensemble de métamorphisme régional.

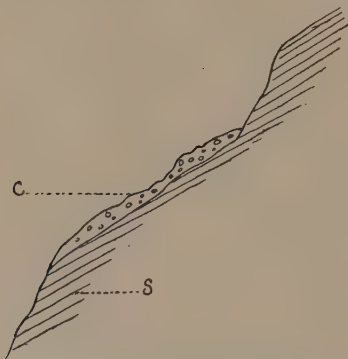


FIG. 1. — Coupe du conglomérat visible à Venthon.

Notre attention a, d'abord, été attirée par un contact visible dans l'Usine d'Aluminium de Venthon, où l'on observe une coupe à 45° moyens environ. On a, tout d'abord, l'impression assez nette que la dalle mince de conglomérat que l'on voit est incluse dans les schistes cristallins, car si l'on prolonge, en pensée, la schistosité de la partie haute des schistes de la coupe, elle paraît passer au-dessus du conglomérat (figure 1).

Mais, en outre, si l'on étudie de près ce dernier, on se rend compte que, s'il paraît tout à fait intact à l'œil nu en certains points, il en est d'autres, proches du contact, où les galets sont enchassés dans une pâte d'allure métamorphique et schisteuse :

il y a passage progressif sur quelques centimètres au schiste cristallin et on trouve dans celui-ci quelques galets de quartz rose englobés. L'impression à l'œil nu est immédiate: le métamorphisme régional des schistes a atteint le conglomérat, l'a envahi partiellement et est venu, que l'on nous pardonne l'expression, mais elle donne bien l'image, expirer dans celui-ci, dans un espace de quelques centimètres.

Cette observation nous a de suite incités à observer de plus près le contact des Mollières d'Ugine, là où il est visible et abordable, de part et d'autre de l'Arly, ainsi que les blocs éboulés de ce contact.



FIG. 2. — Bloc formé de conglomérat sauf sur la face antérieure, constituée par une dalle de schiste. F, flamme schisteuse pénétrant dans le conglomérat. Long. env. 70 cm.

Nous avons d'abord observé un gros bloc particulièrement intéressant et que nous avons recueilli. La figure 2 représente ce bloc; il s'est détaché à peu près selon le plan de séparation des schistes de coloration verte et le conglomérat rosé, mais, heureusement, quelques centimètres d'épaisseur de schistes sont conservés suffisamment pour que l'on puisse constater que des galets roses, et même de petites plages de conglomérat, sont nettement inclus dans les schistes. La schistosité de ceux-ci est, dans l'ensemble, concordante avec le contact mais en un point, on peut voir se détacher une véritable « flamme » schisteuse, nettement discordante et de coloration vert clair qui s'enfonce en coin, dans le conglomérat, en englobant les galets.

En un deuxième point, se détache nettement des schistes une

bande de quelques millimètres d'épaisseur vert vif, d'aspect absolument analogue aux schistes et qui vient les rejoindre environ 15 centimètres plus loin en « enclavant » une plaque de conglomérat d'aspect normal, dessinant ainsi un véritable petit « filon » de schistes ¹ (fig. 3).

Poursuivant alors nos recherches en d'autres points, nous avons pu constater :

1° que, dans les parties du conglomérat proches du contact, par observation attentive, on apercevait souvent effectivement de petites plages discontinues de coloration verdâtre et d'aspect schisteux ;

2° qu'en certains points on observait un passage progressif, sur quelques centimètres au plus, du schiste au conglomérat d'aspect nullement métamorphique ;

3° qu'en d'autres encore se dessinait à l'intérieur du conglomérat un véritable réseau de filaments très minces de mica semblable à celui que forment les schistes (Pl. IV, phot. 3).



FIG. 3. — F, « filon » de schiste englobant un fragment B de conglomérat.

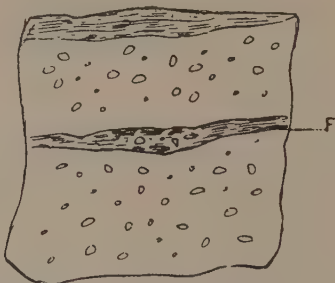
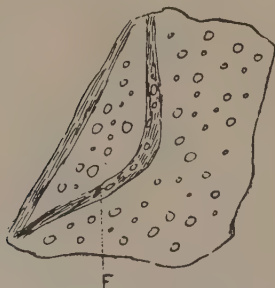


FIG. 4 et 5. — F, « filon » de schiste avec inclusions de galets, traversant un bloc de conglomérat.

Nous avons pu recueillir en outre des échantillons où l'on observe :

1° d'un échantillon à l'autre une croissance continue du métamorphisme avec développement parallèle de la schistosité, jusqu'à aboutir à un véritable schiste cristallin englobant des galets de quartz rose ;

2° de beaux échantillons de véritables apophyses, ou filons ¹ à

1. Le terme de filon est employé ici pour traduire un aspect et non un sens strict.

bords plus ou moins nets de schistes cristallins traversant le conglomérat et englobant dans leur sein toujours des galets de quartz rose (fig. 4 et 5, Pl. IV, phot. 1).

Pour terminer la description macroscopique, nous ajouterons que, aux Mollières d'Ugine, entre les deux bancs de conglomérats, existe un banc de roches satinées verdâtres, d'aspect plus métamorphique à l'œil nu que les conglomérats encaissants.

Les observations sur le terrain ont été complétées par l'examen au microscope d'un certain nombre d'échantillons, taillés en lame mince.

Cette étude de détail a porté essentiellement sur une série de roches prélevées dans les bancs rapportés au Trias, à proximité du pont sur l'Arly, aux Mollières d'Ugine.

A) Grès quartzeux blanc, très légèrement verdâtre par place, et montrant en outre à l'œil quelques petites taches ferrugineuses.

Dans l'ensemble, aspect nettement sédimentaire avec cristaux de quartz à forme arrondie et contours généralement convexes. Parfois néanmoins certains quartz présentent des contours plus complexes avec sinuosités concaves et convexes donnant l'impression de presque îles séparant des golfes intermédiaires. Le ciment est très finement cristallisé et renferme une forte proportion de paillettes phylliteuses ténues et indéterminables avec certitude; quelques cristaux de muscovite et de chlorite. Traînées ferrugineuses zigzaguant entre les grains.

B) Grès presque blanc très voisin de A.

Aspect d'ensemble semblable à l'échantillon précédent avec grains de quartz enrobés dans un ciment phylliteux; en certains points, les contours des quartz sont très complexes donnant des aspects très contournés rappelant certaines des formes de « corrosion » que nous avons décrit dans un précédent article¹ (Photo 4, Pl. IV, et 4, Pl. V).

C) Conglomérat blanc verdâtre. Grain très irrégulier par places. Tendance à une certaine schistosité avec apparition de plaques verdâtres satinées et feuilletées visibles à l'œil.

Une lame mince taillée dans la partie conglomératique présente 2 zones différentes que, pour la commodité de la description, nous désignerons par 1 et 2.

La zone 1, de grain très fin, est formée presque uniquement de quartz en cristaux minuscules, engrenés les uns dans les autres. Par places, zones sinueuses à bords parallèles, à aspect

1. R. PERRIN et M. ROUBAULT. Le granite et les Réactions à l'état solide. *Bull. Serv. Carte Géol. Algérie*, 5^e série, n° 4, 1939.

de « filons » dans lesquelles les cristaux de quartz sont plus gros et allongés perpendiculairement à la longueur du filon, l'ensemble présentant en plus petit un aspect très voisin de ce qui sera décrit pour l'échantillon E (Photo 5, Pl. V).

La zone 2 est constituée par des cristaux de quartz à contours souvent très sinueux au milieu d'un ciment avec paillettes micacées très ténues, présentant ainsi un aspect voisin de celui de l'échantillon B. La limite entre les zones 1 et 2 est confuse ; un cristal de quartz situé sur cette bordure montre, côté 1, un contour sinueux avec « golfes » et « presqu'îles » bien marqués.

D) Roche voisine de C. Conglomérat à grain fin et assez régulier, avec tendance à une certaine schistosité manifestée par des zones verdâtres et satinées.

Nombreux cristaux de quartz noyés dans un fond phylliteux ; les quartz sont à contours irréguliers. Certains gros cristaux se présentent comme des nodules amygdaloïdes enrobés dans des alignements micacés onduleux, l'ensemble donnant une texture qui rappelle celle d'un gneiss œillé.

E) Roche à grain très fin, schisteuse, micacée. En masse teinte gris verdâtre. En lame mince, véritable texture de mica-schiste avec passage à chloritoschiste. Lits de chlorite et de séricite alternant régulièrement avec des lits de quartz (Photo 5, Pl. IV)

Deux préparations taillées dans cette roche nous ont montré l'existence de bandes de quartz à bords parallèles normales à la schistosité et ayant l'aspect de « filons » (Photos 1, 2, 3, Pl. V).

En réalité, ces bandes sont formées de cristaux de quartz allongés perpendiculairement à l'allongement du filon et parallèlement à la schistosité. Ces cristaux de quartz se raccordent d'ailleurs fréquemment avec des cristaux de quartz des lits normaux du schiste¹. Quelques cristaux d'apatite.

F, G, H) Conglomérats et quartzites.

Aspects similaires à ceux décrits pour les échantillons A et B. Seuls différent, suivant les cas, l'aspect des grains de quartz qui sont à maintes reprises très dentelés, à contours sinueux.

L'impression d'ensemble qui se dégage de l'examen de ces quelques lames est la suivante : la texture des grès et conglomérats n'est pas aussi simple que l'observation à l'œil nu semblait faire prévoir. Les cristaux de quartz n'ont pas tous, il s'en

1. Sans vouloir revenir ici sur la valeur du mot « filon » et de la distinction nécessaire entre vrai et faux filons, l'aspect décrit ici et figuré en microphoto nous paraît être celui d'un faux filon particulièrement net.

faut, les contours nets des éléments d'un grès intact : l'abondance des aspects de « corrosion », les contours sinueux et complexes, la nature même du ciment — de cristallinité variable suivant les points — sont des indices très nets d'un *métamorphisme commençant* et de *masses cristallines en pleine évolution*. Enfin les zones verdâtres et schisteuses (échantillon E, « flammes » et « filons » des blocs représentés par les fig. 2, 3, 4 et 5) ont la texture et la composition de véritables chlorito- ou séricitoschistes *absolument identiques à ceux des grandes séries métamorphiques*.

Ayant ainsi résumé nos observations de détail et exposé les faits précis avant d'en tirer des conclusions, nous pouvons maintenant exposer celles qui s'imposent à nos esprits et qui sont multiples.

1° L'examen approfondi des contacts qui paraissaient indubitablement à l'œil nu comporter le simple dépôt d'un conglomérat sur un « vieux schiste », met en évidence un phénomène infiniment plus complexe et montre que le conglomérat superposé aux schistes cristallins est également atteint par le métamorphisme. Et, en présence de l'identité des minéraux d'une part et de la très faible distance séparant le conglomérat non métamorphique des schistes cristallins, il nous paraît impossible de ne pas penser que le métamorphisme des deux roches n'est pas contemporain. Il nous paraît donc légitime de reprendre la recommandation citée au début de cet article *« d'observer soigneusement les contacts avant de conclure à simple dépôt et antériorité d'âge »*.

2° Quoique le métamorphisme ait également atteint le conglomérat, et soit donc postérieur indubitablement au dépôt de celui-ci, la schistosité est par places en discordance nette avec la stratification : flammes ou apophyses (fig. 2, 3, 4).

Il nous semble donc être en droit de répéter¹ que la discordance sur schiste cristallin ne prouve nullement *à elle seule* l'antériorité d'âge de ceux-ci en leur état présent, contrairement aux opinions actuelles. Il en est de l'utilisation des discordances, en tectonique et en stratigraphie, comme de celle des galets contenus dans un poudingue ; elles ne valent que si un des terrains (discordance) ou le ciment (poudingue) est *totalement exempt* de métamorphisme.

3° Nos observations ont mis en évidence une certaine continuité de métamorphisme régional, en ce sens que l'on retrouve un très léger métamorphisme commençant dans des parties du conglomérat qui paraissaient intactes, mais, il n'en reste pas

1. René PERRIN, *loc. cit.*

moins que dans certains cas aussi bien l'œil nu que le microscope montrent une véritable discontinuité, dans d'autres un passage progressif sur quelques centimètres au plus entre une roche complètement métamorphique et une roche à métamorphisme à peine naissant. Cette discontinuité se produit tantôt à la base du conglomérat lui-même, tantôt à l'intérieur de celui-ci.

Nous nous voyons bien obligés de conclure, si extraordinaire que cela puisse paraître, dans le cas particulier, à un arrêt brusque du métamorphisme régional, à l'existence d'un véritable « front » du métamorphisme régional, selon l'expression employée par Wegmann pour la migmatisation, ce qui fait d'ailleurs perdre au mot régional sa portée¹.

Nous croyons que la notion de la possibilité d'arrêt brusque du métamorphisme régional est fondamentale de par ses conséquences sur la tectonique et estimons indispensable que soient entreprises sur de nombreux points les études de grand détail qui seules peuvent permettre de tirer de premières conclusions légitimes, à l'encontre des examens rapides qui auraient conduit à des conclusions inverses dans le cas qui nous occupe.

4° Il est également nécessaire d'attirer l'attention sur l'analogie qui existe dans le détail entre l'aspect du front des schistes dans le cas observé et l'aspect du front dit « éruptif » de certains massifs granitiques : exomorphisme, enclaves, apophyses, filons ou réseaux de filonnets. A l'échelle près, les phénomènes sont semblables².

Nous ne craignons pas de dire que le front des schistes cristallins a, dans le cas présent, un comportement analogue à celui de bien des roches grenues dites « éruptives »³.

1. Nous nous permettrons d'émettre une hypothèse pour expliquer ce fait. Il apparaît possible que le conglomérat, du fait d'un manque de cohérence, rompant les contacts, ou de toute autre cause, a opposé une véritable barrière au progrès du métamorphisme, barrière entamée sur certains points, pas sur d'autres. Nous pensons pouvoir faire remarquer, là encore, à propos du métamorphisme régional, que de belles discontinuités militent en faveur de nos théories de propagation du métamorphisme par réactions dans le solide — qui nécessitent contact intime — bien plus que des théories par solution, gaz, colonnes filtrantes, etc... qui ne s'accroissent guère de telles discontinuités.

2. La différence d'échelle pourrait trouver une explication dans la différence des températures régnantes lors des transformations, car les vitesses de réaction croissent dans des proportions considérables avec la température.

3. Le mot éruptif couramment employé pour désigner les roches grenues dont la formation a été certainement très lente nous paraît impropre; nous pensons que l'expression de roches éruptives devrait être restreinte aux roches d'épanchement indiscutablement formées à la suite d'une éruption au sens précis du mot dans l'expression « éruption volcanique ». A notre avis, l'ancienne expression de « roches ignées » nous paraît plus correcte pour désigner l'ensemble des roches grenues, microgrenues et microlitiques. C'est la raison pour laquelle nous plaçons le mot « éruptif » entre guillemets.

Ce comportement est classique — pour les granites que E. Raguin appelle en massifs circonscrits¹ — sans être toutefois général.

Dans une étude récente sur le Groënland², Wegmann indiquait qu'un granite nettement « diffus », d'origine migmatique, avait cependant un comportement « éruptif » en certains points vis-à-vis du terrain encaissant.

Le fait est également connu pour des gneiss ; M. J. Durand nous le signalait il y a quelques temps pour des gneiss du Massif Central, que, pour cette raison, il qualifiait d'orthogneiss.

Le contact observé par nous le met en évidence pour des schistes cristallins attribués au métamorphisme régional ; il ne peut être question dans ce cas d'ailleurs, d'injections liquides.

Ainsi se dessine une unité d'aspect dans la propagation des fronts des divers métamorphismes : granitisation, migmatisation, métamorphisme régional.

Le comportement dit « éruptif » ne nous apparaît que comme un cas particulier de cette propagation, plus fréquent, plus accentué sans doute, dans la granitisation, mais dont le mécanisme n'est pas différent des autres. La complexité des échanges chimiques, des diffusions, la diversité des terrains intéressés peuvent et doivent conduire à des variantes multiples : il n'est, pour s'en rendre compte, que d'avoir observé dans le détail le contact d'un granite avec un même terrain encaissant, et les enclaves de ce terrain. Les variantes sont déjà très nombreuses, pour un même contact et, même à l'intérieur d'une même enclave, où l'on peut déceler des « fronts » nets de transformation³.

Mais, sous ces comportements divers, de plus en plus, à nos yeux, semble aussi se dessiner une unité de mécanisme : ce n'est pas la constatation des apophyses et filons de schistes cristallins englobant des galets de quartz restés en place qui nous incitera à considérer que de tels aspects impliquent injection obligatoire de liquide.

5° Enfin, nous voudrions revenir sur un point particulier relatif à la tectonique des Alpes.

1. RAGUIN (E.). Problèmes de la Géologie du granite. *Revue des questions scientifiques*, Louvain, mai 1937.

2. En raison des circonstances actuelles nous ne pouvons malheureusement pas donner la référence exacte.

3. Ce phénomène est visible sur des photographies d'échantillons publiées dans notre brochure : Le granite et les réactions à l'état solide. *Loc. cit.*

Les schistes cristallins du Beaufortin, faisant partie des « Massifs autochtones » sont classés hercyniens et même par Ritter antéhercyniens. Un fait net, précis se dégage de nos observations : le métamorphisme qui a créé ces schistes *en leur état actuel* a atteint des bancs, que l'on classe généralement dans le Trias, et qui, dans tous les cas, sont parfaitement concordants sous tout le Secondaire de la chaîne des Aravis.

Cette étude précise semble donc permettre de confirmer le doute, émis par René Perrin en 1935, sur le dit âge hercynien. Nous pouvons même dire, dans le cas particulier : rien ne prouve même qu'il ne s'agisse pas d'un âge alpin, dont le front visible de propagation s'est arrêté à l'intérieur ou en bordure du conglomérat. Si l'on admet avec nous, et avec un nombre croissant d'auteurs, qu'il n'y a pas de métamorphisme net sans changement de volume, donc sans plissement, la probabilité apparaît au contraire que ce métamorphisme soit d'âge alpin, puisque toutes les couches du Secondaire sont parfaitement concordantes sur un terrain atteint par lui.

La conjoncture est grave, puisqu'elle remet en question, une fois de plus, des dogmes très admis. Nous ne nous sentons pas le droit de conclure et ceci nous paraît appeler de nouvelles observations, faites en se pénétrant de l'idée nouvelle que la propagation du métamorphisme qualifié de régional peut s'arrêter brutalement ou en quelques centimètres dans des conditions difficilement observables à l'œil nu.

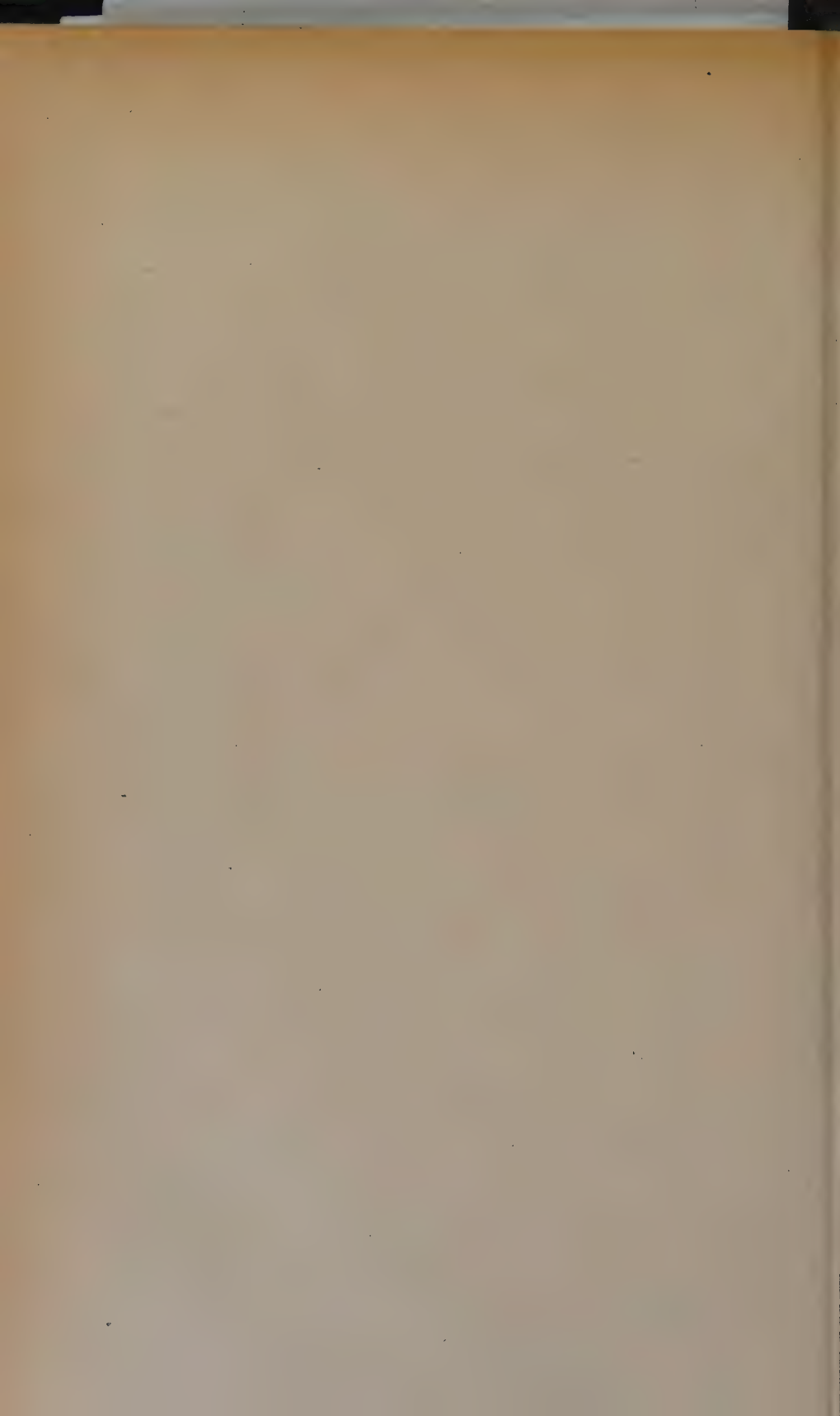
LÉGENDE DES PLANCHES IV ET V

PLANCHE IV.

1. Conglomérat métamorphique du Trias montrant à une de ses extrémités une zone verte chloriteuse (v), avec une apophyse (a) s'enfonçant dans une partie gréseuse (c), moins atteinte par le métamorphisme (2/3 de grandeur naturelle).
2. Conglomérat métamorphique du Trias (Cg) avec une zone de schiste micacé (s); la limite entre les deux est très sinueuse (4/5 de grandeur naturelle).
3. Conglomérat métamorphique du Trias (C) avec de très minces « filonnets » de schiste (s); (F), petit « filon » quartzeux du genre de ceux représentés par les microphotographies 1, 2, 3 de la planche V (2/3 de grand. nat.).
4. Aspect de l'échantillon B (p. 187); cristaux de quartz (Q) à contours très sinueux et dentelés au milieu d'un ciment (c) à fines paillettes phylliteuses et cristaux ténués de quartz. Lum. pol. $\times 30$ env.
5. Micaschiste E (p. 188); bandes de quartz (Q), muscovite et séricite (m), chlorite (c). Lum. nat. $\times 30$ env.

PLANCHE V.

- 1 et 2. Dans le micaschiste (5) de la planche IV, « filon » de quartz (F) avec cristaux de quartz perpendiculaires aux deux bords (Q) et se prolongeant parfois dans les alignements de quartz du schiste. (1) Lum. pol.—(2) Lum. nat. $\times 30$ env.
3. Un autre aspect de « filon » avec cristaux de quartz parallèles entre eux et perpendiculaires aux bords. Lum. pol. $\times 30$ env.
4. Un cristal de quartz dentelé (Q) dans le conglomérat métamorphique figuré à moins fort grossissement sur la photographie 4, Pl. IV. Lum. pol. $\times 150$ env.
5. Zone 1 de la plaque C (p. 187). Fine cristallisation de quartz avec un tout petit « filon » (F), à cristaux orientés perpendiculairement aux bords. Lum. pol. $\times 30$ env.



SUR LES FACIÈS SILICEUX DU SPARNACIEN DANS L'EST ET LE SUD-EST DU BASSIN DE PARIS

PAR **Antonin Lanquine** ET **Jean Cuvillier**¹

Tour à tour, H. Thomas² et Paul Lemoine³ ont signalé la difficulté d'établir des successions stratigraphiques satisfaisantes dans le Sparnacien du Bassin de Paris, en raison des faciès multiples qui composent cet étage et de leur distribution irrégulière. L'assertion émise par le premier de ces auteurs s'appliquait spécialement aux coupes du Sparnacien situées sur les feuilles de Provins et de Sens au 1/80.000^e de la Carte géologique de la France, dont il avait révisé les contours pour la 2^e édition.

Postérieurement, A. Hure et G.-F. Dollfus⁴ d'abord, Augusta Hure⁵ ensuite, reprenaient les mêmes constatations, d'une part pour l'E de Sens et, d'autre part, pour le bassin de la Vanne, sans autres détails, d'ailleurs, que la brève énumération de dépôts sparnaciens variés.

Une étude particulière des roches quartziteuses de l'étage en question dans l'E et le SE du Bassin de Paris nous a conduits à observer de nombreux points et, ce faisant, des successions et des passages latéraux sur lesquels aucune donnée précise n'avait été fournie jusqu'à ce jour. Du point de vue géographique, le champ de nos observations a été le suivant : le bord de la cuesta de l'Île-de-France entre le Petit Morin et le Montois, avec quelques incursions dans la Brie ; le Sénonais jusqu'à la bordure sud du Pays d'Othe ; la partie orientale du Gâtinais à l'E du Loing ; les confins de la Puisaye de part et d'autre de la Vallée de l'Ouanne.

Rappelons que les étages supérieurs du Crétacé forment dans ces régions, qui se raccordent, le substratum normal des sédi-

1. Note présentée à la séance du 23 juin 1941.

2. H. THOMAS. Contribution à la Géologie des environs de Provins. *B. S. G. F.*, (3), t. 28, 1900, p. 75. — Révision de la feuille de Sens au 80.000^e. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, vol. 16, *C. R. Collab.* pour 1904, 1906, p. 21.

3. PAUL LEMOINE. Géologie du Bassin de Paris. Vol. gr. in-8°, 1911, p. 213.

4. A. HURE et G.-F. DOLLFUS. Découverte de débris meuliers lutétiens à l'Est de Sens (Yonne). *CR. Ac. Sc.*, 165, 1917, p. 503.

5. AUGUSTA HURE. Notes sur la géologie et la tectonique du Bassin de la Vanne (Yonne). *B. S. G. F.*, (4), t. 19, 1929, p. 217-242.

ments sparnaciens avec interposition d'argile à silex vers le Gâtinais et la Puisaye. Quant à leur couverture, lorsqu'elle est conservée, ce sont des dépôts lacustres qui la constituent, on le sait, tantôt des calcaires du Lutétien supérieur (Brie et Montois), tantôt des calcaires et des marnes du Bartonien supérieur ou du Ludien, tantôt des calcaires ludiens (N du Gâtinais). Si l'on envisage, dans le sens vertical, l'ensemble des formations sparnaciennes ainsi encadrées, on se rend compte de l'inégale répartition des grès et des épisodes quartziteux qu'ils recèlent. Ces roches siliceuses sont souvent au sommet, localement accompagnées de sables fins. Mais nous en avons observé à la base, séparées alors de la Craie, fréquemment ravinée, par quelques lits de sables plus ou moins grossiers et ferrugineux. Elles existent aussi dans la partie médiane de l'ensemble, environnées cette fois de sables argileux et d'argiles.

Il ne saurait être question d'énumérer ici les nombreux affleurements que nous avons observés, ce qui nous entraînerait à de trop longs développements. L'important, à notre avis, est de mettre en évidence la prédominance de certains faciès et, surtout, leurs passages latéraux dans les régions parcourues.

Abordons ces régions par le Nord :

1° *Bords de la Cuesta de l'Ile-de-France.* — Les points les plus extrêmes que nous ayons observés sont situés sur la rive gauche du petit Morin et à l'ouest des marais de Saint-Gond. L'endroit le plus intéressant que nous ayons remarqué là est situé au nord de Mondement, dans un petit vallonement au voisinage de Montgivroux. Au-dessous d'une chapelle ruinée, une butte, éventrée par une extraction locale, montre, plus ou moins disloqués, des bancs de grès quartziteux encadrés de sables. Sur le flanc opposé du vallonement, ces mêmes sables contenant moins de grès passent latéralement, d'une manière très nette, à un complexe d'argiles contenant quelques veines ligniteuses.

Plus au Sud, entre le bois d'Allemant et les environs de Sézanne, quelques gîtes de grès quartziteux, encadrés de sables, ne permettent pas d'examiner les connexions qu'ils peuvent présenter avec plusieurs affleurements d'argile plus ou moins exploités au voisinage. Mais, en franchissant la lisière de la cuesta, nous avons visité les rives du Grand-Morin. Autour de la Ferme du Bricot, au SE de Châtillon-sur-Morin, des sables blancs, fins, contenant des blocs isolés de grès quartziteux passent latéralement à des formations argileuses. Dans le même secteur, c'est-à-dire au SE d'Esternay, entre le talweg du Grand-Morin et la route de Châtillon au Bricot, les formations quartziteuses et argileuses

se présentent d'une manière semblable, les argiles étant particulièrement sableuses. Plusieurs sondages, prescrits jadis par l'un de nous à l'ouest de Retourneloup, avaient révélé des constatations de même nature : terminaison en biseau d'argiles riches en alumine dans un complexe de sables gras et de sables fins contenant des grès quartziteux.

En suivant le bord de la cuesta au sud de Sézanne et à l'ouest de Barbonne et de la Fontaine-Denis, les épisodes sableux avec quelques roches quartziteuses intercalées semblent prédominer, notamment dans la partie très boisée de cette région où nous avons poussé un certain nombre de reconnaissances. Il en est de même pour tout le bord de la cuesta qui entoure Villenaux.

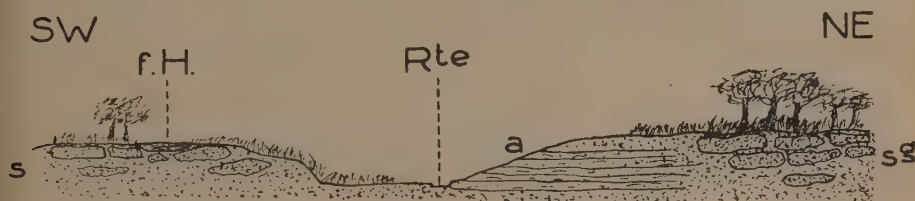


FIG. 1. — Coupe croquis du détail des couches entre la Fontaine Heurtebise et la butte au NE de la cote 166.

f. H., fontaine Heurtebise ; Rte, route de Villenaux à Provins par Léchelle ; s, sables et ss, sables avec grès quartziteux ; a, argiles sableuses.

Si l'on excepte quelques gîtes d'argile très alumineuse de part et d'autre de la route de Sézanne, la plupart des affleurements sparnaciens montrent un grand développement de sables et de roches quartziteuses. Nous avons exploré les environs immédiats de Montpothier, à l'est de Courtioux, et nous avons suivi la bande sparnacienne depuis Resson jusqu'à Chalaudre-la-Grande. Partout, en ces lieux, les grès quartziteux sont assez abondants dans une masse sableuse et argilo-sableuse qui contient fort peu d'épisodes véritablement argileux. Au point où la route de Villenaux à Provins franchit la lisière de la Cuesta (cote 166), nous avons encore observé le passage latéral très net des formations gréseuses et sableuses aux formations argileuses. En effet, une série d'anciennes exploitations ou d'extractions reprises, permet de constater que les bancs argileux, d'ailleurs d'une argile assez quartzreuse, passent, au Nord, en direction des Mignons, à des sables et grès quartziteux et qu'il en est de même au Sud, en direction de la Fontaine d'Heurtebise (fig. 1).

Cependant, dans toutes les buttes comprises entre Courtioux, Montpothier et La Saulsotte, la position des grès quartziteux que

nous avons étudiés en détail paraît être à des niveaux variés. Cette situation, dans le sens vertical, est en relation, d'une part, avec des ondulations, à large rayon de courbure, du substratum crayeux ; d'autre part, avec les résultats visibles d'anciennes érosions, d'anciens ruissellements, qui ont fait glisser de nombreux blocs quartziteux sur les pentes sableuses et argilo-sableuses, ce phénomène ayant évidemment suivi la dissociation des bancs gréseux par des diaclases plus ou moins profondes. De nombreux blocs de grès donnent ainsi l'impression de n'être pas en place et d'être accumulés soit sur les pentes, soit au fond des vallonements. Mais, quand de véritables *bancs* sont en place (buttes de Courtioux, vallon entre Resson et Courtioux) ils sont à l'état lenticulaire dans le complexe argilo-sableux.

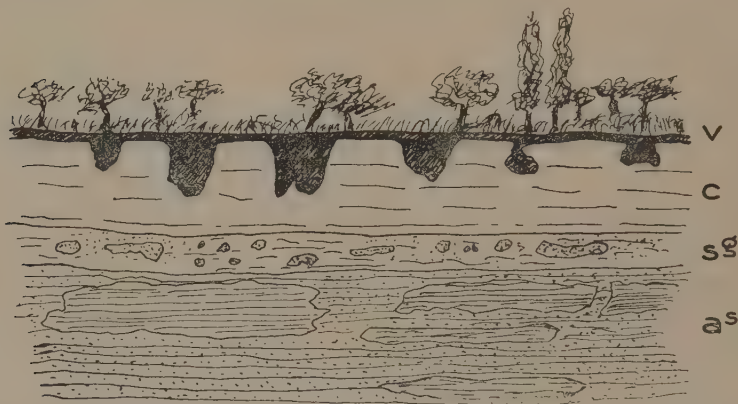


FIG. 2. — Coupe-croquis d'une partie du front de la carrière des Grands-Pleux, lisière nord de la Forêt de Sourdun.

v, terre végétale et sol forestier ; c, calcaire lacustre bartonien ; sg, sables, graviers et grès ; a^s, argiles sableuses avec bancs lenticulaires d'argile alumineuse intercalés.

Au delà de Chalautre-la-Grande, dans les bois qui couronnent le Crétacé jusqu'aux environs de Gouaix (forêt de Sourdun) nous avons poursuivi nos observations au nord du Plessis-Mériot, à l'est et à l'ouest de la Croix de Fer, au nord d'Hermé. Partout encore, nous avons remarqué les faciès sableux prédominants avec, çà et là, des gîtes intercalés de roches quartziteuses. Peu d'argiles. Une seule exception à cette constatation générale : la carrière des Grands Pleux, dont H. Thomas a énoncé jadis la coupe, précisée par l'un de nous sur le croquis ci-contre (fig. 2). On peut remarquer que les argiles qui font l'objet de l'extraction sont assez quartzueuses, sauf quelques lentilles alumineuses, et

que le cortège sableux qui les encadre est très important. On sait que ce sont, en revanche, des formations argileuses qui prédominent dans la vallée de la Voulzie, sur le territoire de Provins et des localités voisines avec deux variétés principales, des argiles à faïence et d'autres, très alumineuses, utilisées dans les industries réfractaires¹. Cependant, même dans le « bassin argileux », il y a des formations de passage, sous forme de sables argileux, de sables gras, mais cette fois sans roches quartziteuses. On peut le constater aux environs de Soizy-Bouy, Chalaudre-la-Petite, Sainte-Colombe. En allant vers l'Ouest, au delà de la Voulzie, au lieu dit les Murs, il n'y a plus que des sables plus ou moins ferrugineux.

Nous avons continué ensuite l'exploration de la bande sparnacienne comprise entre la Craie blanche et le Calcaire lacustre bartonien jusqu'au delà de Thénisy, c'est-à-dire dans le Montois. Les points observés à l'ouest de Savins, au-dessous de Sognolles et de Cessoy, nous ont permis de retrouver la continuité des sables, mais sans bancs gréseux. En revanche, à l'est de Donnemarie-en-Montois, quelques blocs de grès quartziteux réapparaissent au milieu des sables dans un bois au nord immédiat de la route. Nous avons fait la même constatation dans les bois situés au sud de Dontilly et sur l'éperon à l'est de cette localité, de même qu'aux environs de Montigny-Lencoup et au nord de Chantenay-sur-Seine. Cependant, en ces deux derniers points, l'abondance des affleurements quartziteux est notable. On sait qu'au delà et jusqu'au pied de la butte des Ormeaux au nord de Monttereau², le bord sparnacien du Montois, entamé par le vallon du Rû de Laval, montre une assez grande quantité d'argiles plus ou moins quartzieuses, et encadrées de sables gras, lesquels sables contiennent pourtant quelques bancs de grès au voisinage de Courbeton.

2° *Sénonais*. — Avant d'aborder le Sénonais proprement dit, nous avons étudié la pointe extrême de la Champagne pouilleuse, au sud de la vallée de la Seine. Au-dessus de la Craie campennienne, les affleurements gréseux sont là très développés au sommet de quelques bancs de sables plus ou moins gras. Ils

1. A la descente de la route de Léchelle à Provins, nous avons remarqué, à la base de la butte située immédiatement en amont de Saint-Brice, sur le front, en partie envahi par la végétation, d'une ancienne exploitation d'argile, quelques blocs de roches quartziteuses inclus dans la formation et accompagnés de sables gras.

2. Cette région, comme celle de Provins, a été particulièrement étudiée par l'un de nous, du point de vue spécial des variétés argileuses.

couvrent d'assez grandes surfaces dans les bois qui couronnent le domaine Sommier au sud de Pont-sur-Seine avec un développement marqué des épisodes quartziteux. Même constatation à 1.500 mètres environ du hameau de Longueperthe et en direction de Quincey. Plusieurs buttes sparnaciennes, non marquées d'ailleurs sur la feuille de Provins au 80.000^e, contiennent de nombreux témoins quartziteux, parmi des sables, mais passant, en direction du SW, à des grès plus grossiers et ferrugineux. Dans les bois situés entre le Ferreux et Avant-lès-Marcilly jusqu'au voisinage immédiat de cette dernière localité, nous avons noté la présence de nombreux affleurements de sables grossiers et de grès de moins en moins quartziteux et de plus en plus limoniteux.

Examinons maintenant, au N et au NE de Sens, les faciès des terrains sparnaciens compris entre la rive droite de l'Yonne et la Vallée de la Vanne. Nous n'avons remarqué, dans toute cette région, que quelques très rares épisodes quartziteux dans un assez large développement de grès, fréquemment tendres et souvent ferrugineux, avec des inclusions calcaires parfois. Grès inclus dans une grande formation argilo-sableuse, où quelques gîtes d'argiles riches en quartz ont été utilisés pour la tuilerie. Il nous paraît, à cet égard, superflu de citer ici des localités sur toute l'étendue que nous avons examinée, depuis les bois de la Pommeraiie jusqu'au delà de la forêt de Lancy vers l'Est et jusqu'au sud des Clérimois. Cependant, au nord de Pouy-sur-Vanne et entre cette localité et Bercenay-le-Hayer (bois des côtes 182 et 183), nous avons rencontré quelques affleurements quartziteux passant à des grès ferrugineux.

Restons sur la rive droite de l'Yonne, mais au sud de la Vanne. Dans ce secteur, depuis Villeneuve-sur-Yonne jusqu'à Arces, ce sont surtout des grès et des sables, comme précédemment, que nous avons remarqués. Sables prédominants au nord de la forêt d'Othe (forêt de la Potence), aux environs de Voudeurs et de Coulours. Quelques affleurements d'argiles très quartzieuses parmi ces sables ont fait l'objet d'anciennes extractions alimentant de petites tuileries. Cependant, au NE de Dixmont, les lieux dits Grange-Bertin et la Borde-à-la-Gousse ont retenu notre attention. Les sables contiennent là des bancs siliceux, de texture nettement quartziteuse.

Venons maintenant aux résultats de nos observations sur la rive gauche de l'Yonne jusqu'aux confins du Gâtinais. Nous avons abordé cette région par le sud immédiat de Montereau. Dans le bois d'Esmans, au-dessus de la Craie campanienne, le Sparnacien n'est représenté que par des sables contenant quelques bancs de

grès ferrugineux assez tendres au-dessous de témoins conservés de calcaires ludiens, non marqués sur la feuille de Sens au 80.000^e. De semblables constatations s'appliquent au Sparnacien de Ville-Saint-Jacques, de Villecerf, de Villemert. Au contraire, la région comprise entre Voulx et Sens nous a permis d'observer, en de nombreux points, des ensembles où les roches quartziteuses sont abondantes. Nous citerons en particulier les environs de Voulx même, en direction du Nord, puis, à l'Est, la région comprise entre Brannay, Saint-Sérotin, Villebougis et Nailly où de nombreux affleurements de grès durs, dont quelques-uns à tendance nettement quartziteuse se montrent encadrés de sables et passent latéralement à des argiles sableuses plus ou moins bariolées. Ces dernières ont été fréquemment utilisées pour des tuileries locales, comme l'avait mentionné II. Thomas¹, dans le voisinage des villages en question. L'un des affleurements de grès quartziteux les plus remarquables est au sud de Saint-Sérotin, dans les bois du domaine de Plénoches. Ces roches apparaissent en bancs, en blocs un peu disloqués, au milieu de sables fins, blancs, encadrés partout par des sables argileux. Des conditions de gisement identiques sont visibles entre Saint-Sérotin et Pont-sur-Yonne dans les bois au voisinage de la tuilerie du Petit Gitry. Mais, au sud immédiat de Pont-sur-Yonne et sur le passage de l'aqueduc de la Vanne (butte cotée 167), il n'y a plus, au-dessus de la Craie blanche, que des sables quartzeux et des blocs de grès assez grossiers dont quelques-uns sont très limoneux.

Examinons, toujours sur la rive gauche de l'Yonne, les affleurements sparnaciens du SW de Sens. Dans ce secteur, nous avons remarqué plusieurs localités où les faciès gréseux prédominent nettement : le sud de la Belliole, au voisinage du lieu dit le Chêne-au-Roi, les bois qui dominent les deux flancs de la vallée du Betz, l'ouest du hameau des Besnards (fig. 3) entre Domats et Savigny, les Piffonds. En ces deux derniers points, d'assez grandes sablières, en partie abandonnées, permettent de considérer, au-dessus de la Craie santonienne, les dépôts sparnaciens uniquement représentés par des sables, à la partie inférieure (contenant quelques poches assez ferrugineuses aux Besnards) et des grès plus ou moins quartziteux à la partie supérieure, directement sous la terre végétale. Les mêmes formations se retrouvent, dans des conditions identiques, au voisinage des

1. H. THOMAS. Révision de la feuille de Sens au 80.000^e. *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, vol. 16, C. R. Collab. pour 1904, 1906, p. 21.

Tartarins et des Ratorets. Signalons encore, entre le village d'Egriselle et l'Yonne, plusieurs affleurements de même allure et de même aspect lithologique au nord du hameau de Roussemeau. Au voisinage de la cote 184 et d'une cote légèrement moindre au delà de la petite route qui monte vers Chaume, les bancs et les blocs de grès couronnent les sables, au-dessus de la Craie, et montrent des tendances nettement quartziteuses.



FIG. 3. — Coupe-croquis de la sablière à l'Ouest du hameau des Besnards, entre Domats et Savigny.

v, terre végétale et sol forestier ; g, grès quartziteux ; s, sables.

3° *Partie orientale du Gâtinais, à l'est du Loing.* — Nous avons abordé cette région située immédiatement à l'ouest du Sénonais par les environs de Nonville. Faisant suite à la région de Villemer où nous n'avons trouvé que des grès tendres, souvent ferrugineux, à l'intérieur des sables sparnaciens, un passage à des grès quartziteux abondants a retenu notre attention entre Nonville et Darvault, dans les bois au voisinage du lieu dit l'Alpha. Les points extrêmes que nous avons visités dans cette région sont situés autour de Ferrières-en-Gâtinais. Au sud de Bransles, la lisière du bois de Maupertuis nous a montré la présence de grès souvent ferrugineux, parfois calcaires, au contact immédiat du Poudingue de Nemours. Même constatation autour du hameau de Brandard, au voisinage de Chevannes. Là, l'examen d'une petite carrière nous a permis de constater que des bancs de grès plus ou moins quartziteux se trouvaient inclus dans le poudingue. Entre ce dernier village et Pers, à peu de distance de la ferme de Hortains, un affleurement important de grès quartziteux paraît reposer sur le poudingue. Mais si l'on se dirige vers Méreville ou entre cette localité et la Selle-sur-le-Bied, on constate que des blocs et des bancs de grès quartziteux passent latéralement, par un grès grossier, au poudingue. Entre Méreville

ville, Ervauville et Bazoches-sur-le-Betz, réapparaissent des épisodes d'argile sableuse environnant à la fois des éléments de poudingue et deux sortes de grès, l'un tendre, à grain grossier, contenant de fortes imprégnations ferrugineuses et argileuses, l'autre plus clair, plus dur, à tendance nettement quartziteuse. Ces faits sont très nets dans le bois des Lattes au voisinage de la Hallebarderie. Même constatation plus au Sud, autour du lieu dit les Guéridons, plus près d'Ervauville.

Entre cette dernière localité et Courtenay, les affleurements sparnaciens, principalement sableux, présentent encore des passages latéraux très nets du poudingue aux grès quartziteux, en particulier au voisinage immédiat de Saint-Hilaire-lès-Andréisis.

4° *Confins de la Puisaye.* — Au SE de Courtenay, nous avons tout d'abord étudié les affleurements sparnaciens situés au sud et au nord de la route de Saint-Julien-du-Sault. A l'ouest de Saint-Loup-d'Ordon, le voisinage de la ferme des Petits-Roux montre, au-dessous de la terre végétale, des bancs quartziteux assez épais surmontant un sable gras et ferrugineux. Le substratum crayeux n'est pas visible dans cet endroit mais, plus loin, aux environs du village de Saint-Martin-d'Ordon, sables gras et grès couronnent la Craie supérieure.

Entre cette dernière région et le ruisseau de Saint-Vrain, les environs tout proches du hameau des Girardots et, un peu plus loin, le bois des Moines contiennent des grès quartziteux au-dessus de l'argile à silex ; ces grès passent latéralement à des sables gras jadis extraits pour la tuilerie dans les environs.

Dans la vallée de l'Ouane, aux environs de Saint-Martin, les grès que nous avons examinés, dans la même situation stratigraphique, sont partiellement calcaires et assez ferrugineux.

Nous avons atteint Sept-Fonds et les environs de Tonnerre. Dans ce secteur, des sables passent au poudingue avec quelques intercalations de grès ferrugineux. Légèrement plus au Nord, entre les villages de Louesme et Champignelles, nous avons examiné plusieurs affleurements ; ce sont tantôt d'anciennes sablières contenant du grès quartziteux, tantôt des sables, sans formation gréseuse. Aux environs des fermes dites : Maisoncelle, les Bonnets, les Baurins, l'exploration des champs et des boqueteaux des alentours nous a montré plusieurs affleurements de roches très quartziteuses, compactes et homogènes, dont certaines parties sont très ferrugineuses et passent latéralement, de la manière la plus nette, au poudingue,

Rapprochons-nous maintenant de la vallée du Tholon, en direc-

tion de Joigny. Nous avons visité les affleurements sparnaciens que recèlent les bois situés entre la Ferté-Loupière et Volgré. En plusieurs points, particulièrement au voisinage de la ferme des Ombreaux et du hameau des Rigolets, nous avons examiné des bancs et des blocs de grès quartziteux, souvent un peu épars, mais, de temps en temps, au contact latéral du poudingue.

Terminons par la région située en bordure du pays d'Othe, au nord et au NE de Joigny. Nos observations, commencées à l'est de Saint-Julien-du-Sault, ont été poussées jusqu'à Paroy-en-Othe et ne nous ont révélé des lieux intéressants qu'en forêt, à 2 km. environ au NW de Looze (bois du Bouquin). Sur une sorte d'alignement, La Fourchette-Joigny, nous avons remarqué des bancs et des blocs de grès quartziteux formant nettement passage au poudingue à silex.

*
* *

Quant à la texture des roches quartziteuses envisagées, elle a fait l'objet, de notre part, d'une soixantaine d'examens microscopiques en lames minces, correspondant à autant de prélèvements qui nous ont semblé typiques sur le terrain de nos observations. Paul Jodot avait déjà, à deux reprises ¹, indiqué les principaux caractères de cette structure à propos de roches gréseuses recueillies dans la vallée de l'Ouanne. Nos examens concordent avec l'énoncé fait par notre confrère, pour quelques échantillons étudiés par nous. Cependant, sans entrer dans le détail des diagnoses, nous pouvons résumer comme suit les résultats essentiels de nos examens :

Le type prédominant est un grès à ciment quartzeux, à grain variable ; les quartz sont anguleux, subanguleux ou subarrondis, quelques-uns à extension roulante, fréquemment à inclusions, et souvent fracturés ; ceux du ciment, plus ou moins abondants, finement grenus, coexistant quelquefois aussi avec de petits amas calcédonieux.

Un certain nombre de lames minces permettent d'identifier des grès-quartzites et des quartzites-grès ². Dans les premières, qui montrent des formes de passage aux grès non quartziteux déjà mentionnés, on trouve surtout des plages de quartz clas-

1. Paul JODOT. A propos du calcaire lacustre de Saint-Martin-sur-Ouanne (Yonne). *A.F.A.S., Congrès de Nîmes*, 1912, p. 330-35, 1913. — Sur la structure des grès sparnaciens du SE du Bassin de Paris. *B.S.G.F.*, (4), t. 13, *C.R. somm.*, p. 127-129, 1913.

2. Suivant les catégories établies par Lucien Cayeux.

tiques ayant gardé leurs contours primitifs et cimentés par du quartz en éléments plus fins voisinant avec des régions où les quartz, plus ou moins indentés, se sont complètement moulés les uns sur les autres sans que l'on puisse pourtant déterminer leurs zones d'accroissement ; cette structure est réalisée dans des roches provenant de Courtioux, des environs de Châtillon-sur-Morin, de la butte de Pont-sur-Seine, de Longuepierre, de Mérimville, etc. . . Dans les échantillons recueillis près de Montigny-Lencoup, aux abords des Piffonds, entre Darvault et Nonville, etc. . . les amas à structure quartziteuse sont, en revanche, plus développés que les plages gréseuses et ces roches correspondent plutôt à des quartzites-grès.

Ces formes de transition nous conduisent à de véritables quartzites dont nos échantillons contiennent aussi des représentants assez typiques ; ils proviennent, en particulier, de Saint-Martin-sur-Oreuse, du lieu dit La Borde-à-la-Gousse, du coteau situé au nord de Roussemeau ; dans aucun d'eux, on ne peut faire la part du quartz secondaire ni évaluer l'importance du nourrissage des grains.

C'est donc une série continue depuis des grès à ciment quartzeux jusqu'à des quartzites francs qui forme l'essentiel des roches compactes de faciès siliceux dans le Sparnacien de toute cette région.

En marge de cette série, quelques préparations montrent une structure de grès à ciment entièrement calcédonieux ; telles sont, par exemple, celles qui correspondent aux échantillons récoltés près de Domats, au lieu dit Les Besnards, et au Chêne-au-Roi, au Sud de Belliole ; les quartz sont en grains simples à contours anguleux ou plus ou moins arrondis ; les intervalles qu'ils laissent entre eux sont remplis de calcédoine fibreuse finement cristallisée, en fibres courtes orientées à peu près normalement à la surface des grains qu'elles entourent ; ce minéral constitue aussi, dans des cavités plus spacieuses, de petits amas globulaires où tendent à se constituer de minuscules sphérolithes.

Parmi les minéraux accessoires et impuretés rencontrés dans ces roches, nous signalerons des traces d'oxyde de fer, mais en très petite quantité, sauf dans quelques gisements, en particulier ceux situés entre Ferreux et Avant-lès-Marcilly où le grès à ciment quartzeux contient des imprégnations ferrugineuses assez régulièrement réparties dans la roche et à dose appréciable. Dans une seule de nos plaques minces, nous avons identifié un petit élément de feldspath plagioclase ; elle appartient au quartzite-grès des environs de Maisoncelle.

On remarquera l'absence à peu près totale de calcite dans le ciment de nos roches; nous n'en avons observé, en très petite quantité d'ailleurs, que dans le grès quartzeux des environs de Montgivroux où ce minéral forme quelques taches parmi des éléments argileux. Les imprégnations d'argile sont plus fréquentes, parfois même relativement abondantes comme dans le ciment des grès de Plénôches, de la butte voisine de l'aqueduc de Pont-sur-Yonne, des environs de Bazoches-sur-le-Betz, de Voulx, etc...¹.

*
* *

Les observations faites sur place, résumons-les, permettent de considérer que ces divers faciès siliceux passent, dans la plupart des cas, latéralement de l'un à l'autre à l'intérieur d'une grande masse sableuse plus ou moins meuble. Et cet ensemble contient, dans les mêmes conditions stratigraphiques, des épisodes argileux ou des poudingues. Les véritables argiles, jusqu'à des variétés de haute teneur en alumine, sont localisées. L'extension des argiles sableuses ou des sables gras est sensiblement plus large. Quant aux poudingues à ciment siliceux qui se rattachent à la variété bien connue sous le nom de Poudingue de Nemours, ils s'étendent assez loin vers l'Est, dépassant de beaucoup les limites de la vallée du Loing.

1. Nous comptons publier très prochainement une étude pétrographique détaillée de toutes les roches qui ont fait l'objet de nos prélèvements.

ORGANES SPÉCIAUX D'ÉCHINODERMES PRIMITIFS : LES PECTINIRHOMBES

PAR **Geneviève Delpy**¹.

Apparus au Cambrien, les Rhombifères sont un des ordres entre lesquels se partagent les Cystoïdes. Nous avons vu qu'avec les Crinoïdes et les Hétérostélés, ils présentent des tendances communes ; c'est le cas de la disposition *Camerata*, à bouche interne, de certains de ces Pelmatozoaires.

Je vais parler ici d'énigmatiques organes spéciaux, les pectinirhombes se rencontrant dans deux familles sur quatre des Rhombifères, particularité qui justifie la création d'un nouveau sous-ordre : *Pectinirhombifera*.

Avant de décrire un pectinirhombe, il est nécessaire de rappeler que les plaques d'Échinodermes présentent souvent une ornementation transsuturale, c'est-à-dire constituée de lignes, côtes, crêtes, rigoles parallèles entre elles, normales aux sutures, reliant les centres des plaques voisines par leurs faisceaux disposés en losanges. Une telle structure se rencontre chez certains Oursins et chez les Crinoïdes ainsi que chez des Échinodermes primitifs (*Stomatocystis* parmi les Édrioastéroïdes, *Dendrocystis* pour les Hétérostélés et tous les Diploporites) mais on la considère comme caractéristique des Rhombifères ou Dichoporites qui en tirent leurs noms. Chez les Eocrinoïdes et autres formes archaïques, cette ornementation consiste en crêtes superficielles séparées par des sillons ; chez les *Echinosphaeridae*, comme chez les Diploporites, ce sont des canaux à l'intérieur des plaques.

Que les canaux transsuturaux des pectinirhombes cheminent à l'intérieur des plaques, ne communiquant avec l'extérieur que par des pores placés à leurs extrémités, ou que ces canaux soient apparents sur toute leur longueur sans usure préalable, ces organes offrent un approfondissement des canaux qui constituent des plis deux ou trois fois plus élevés que les plaques, saillants dans la thèque. Ces canaux sont privés de communication directe avec l'intérieur, car il n'y a pas de pores internes.

Chez les *Caryocrinidae*, les pectinirhombes, répartis assez

1. Note présentée à la séance du 23 juin 1941.

uniformément sur toute la thèque, sont d'ailleurs peu accusés chez *Oocystis* et *Corylocrinus*. Leur nombre est réduit chez les *Glyptocystidae*. Dans *Cheirocrinus* et *Glyptocystis*, il y a encore des pectinirhombes autour de la bouche ; chez *Cystoblastus*, qui en possède de semblables, Jakovlew a montré un cas d'effacement ; dans les autres genres, leur localisation se réduit à trois positions occupées chacune par un seul pectinirhombe ou par une paire.

Les Pectinirhombifères apparaissent au Trémadoc ou à l'Arénig inférieur avec *Cheirocrinus* et *Echinoecrinus* dont les pectinirhombes sont encore nombreux, disposés par paires. *Cystoblastus*, et peut-être les *Caryocrinidae*, datent du passage de l'Arénig au Llandeilo ; les formes à pectinirhombes simples commencent au Llandeilo et s'épanouissent ensuite, en même temps que les *Caryocrinidae*, au Caradoc et au Gothlandien en Europe et en Amérique, pour disparaître au Gédinnien. Les *Echinospaeridae* n'étant connus qu'à partir de l'Arénig supérieur-Llandeilo, il est difficile d'en faire descendre les Pectinirhombifères dont les plaques régulières rappellent davantage les Eocrinoïdes et ont pu être comparées à l'harmonie des Crinoïdes.

Le rôle des pectinirhombes

Ces organes, assimilés par Forbes aux bandes ciliées des larves d'Ophiurides et d'Échinides, par d'autres aux branchies des Astérides, ont été placés au voisinage des hydrospires péribucaux des Blastoïdes, eux-mêmes rapprochés des poches génitales et respiratoires des Ophiurides actuels. Aussi l'interprétation classique leur assigne-t-elle un rôle respiratoire.

Cependant, la répartition des pectinirhombes, quand ils sont peu nombreux, s'oppose à tout ce qu'on connaît des organes respiratoires qui sont, chez les Échinodermes, uniformément répartis sur la surface du corps (branchies lymphatiques des Astérides) ou développés radiairement autour de la bouche (poches génitales des Ophiurides, hydrospires des Blastoïdes, branchies des Oursins glyphostomes), soit enfin associés à la région rectale (tube anal des Crinoïdes, sacs respiratoires des Holothurides). Or, nous savons que la répartition uniforme des pectinirhombes n'a lieu que chez les *Caryocrinidae* (fig. 1) et que trois genres seuls parmi les plus anciens possèdent des pectinirhombes péribucaux ; ailleurs, ces organes sont indépendants des ouvertures du tube digestif.

Nous avons vu que les pectinirhombes sont des canaux transsuturaux. Chez les Cidarides actuels, de tels canaux correspondent au tracé du réseau nerveux périphérique (Prouho), tandis que chez les Crinoïdes, les troncs transsuturaux sont l'indication de troncs nerveux situés sous les plaques. Chez



FIG. 1. — Les pectinirhombes des Caryocrinidae.

De gauche à droite : *Caryocrinus ornatus* (SAY) HALL, type camerata, a) la thèque. *Hemiscosmites pyriformis* von BUCH, type plus ancien, d) la thèque; b et c) coupes dans un pectinirhomb, d'après Jaekel (en noir les plaques compactes).

L'Échinosphéridé *Orocystis Helmackeri* BARRANDE, Bather a d'ailleurs homologué les plus gros de ces plis transsuturaux à des indications superficielles des nerfs sous-thécaux des Crinoïdes. Certes, la ténuité de l'ornementation superficielle est comparable aussi à celle qui marque dans la même direction la structure même des plaques des jeunes Echinides encore dépourvus de piquants. Mais, dans le cas des Rhombifères, il s'agit de véritables canaux dans lesquels devaient passer des nerfs ou des vaisseaux. Il est possible que des filets nerveux y aient été accompagnés de vaisseaux provenant de la cavité générale et remplis du liquide sanguin coelomique. Des exemples d'organes sensitivo-nerveux traversant le test avec des vaisseaux sont connus ailleurs, par exemple les aesthètes des Chitons. En tous cas, s'il y a eu passage de vaisseaux, leur rôle ne devait pas prédominer dans ces canaux qui ne sont ouverts à l'intérieur et à l'extérieur que par des pores assez distants n'impliquant guère une circulation. De plus, chez les Pectinirhombifères, les canaux, sans pores internes, ne communiquent pas avec l'intérieur de la thèque. Cela est à rapprocher de l'ornementation des plaques, hors des pectinirhombes, chez *Cheirocrinus* et

Echinoencrinus : côtes superficielles transsuturales suggérant un réseau nerveux périphérique, gros troncs transsuturaux semblant refléter des troncs internes ; les deux systèmes nerveux interne et externe coexistant probablement.

Bather a remarqué en outre (fig. 2), que la localisation des pectinirhombes, variant avec et dans chaque genre, est toujours exclue d'une ligne sinueuse autour de la thèque, qui paraît correspondre à l'emplacement du tube digestif. Cette répartition

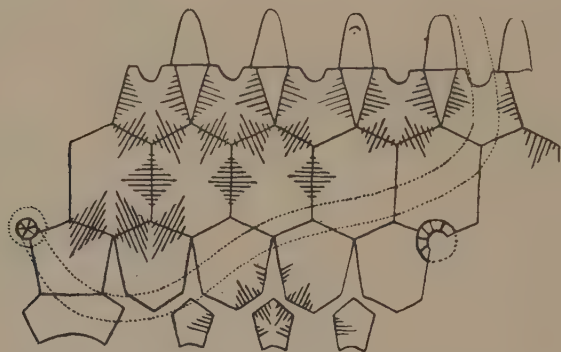


FIG. 2. — Localisations possibles des pectinirhombes chez les *Glyptocystidae* ; en pointillé le tracé du tube digestif. D'après un diagramme de Bather.

s'explique, soit que ces organes, spécialisés dans le sens respiratoire, aient baigné dans le liquide sanguin de la cavité générale et aient été gênés par le tube digestif, soit que, de nature sensorielle, ils ne puissent fonctionner sous la pression du tube digestif.

Envisageant les trois localisations des pectinirhombes de *Glyptocystidae*, elles n'ont entre elles aucun rapport de symétrie. L'une est toujours située près de l'insertion du pédoncule, opposée à l'anus : c'est le pectinirhombe *basal* de Forbes. La position des autres est variable, mais, toujours, au niveau ou au-dessus du périprocte, sur les faces attenantes droite et gauche. Des rapports géométriques semblent exister entre les localisations et les directions transsuturales de ces pectinirhombes, rapports spatiaux, avec l'axe et les directions de l'espace, comme nous allons le voir.

Pour continuer, il est nécessaire d'admettre une hypothèse que nous chercherons à vérifier : organes sensibles à la pression, offrant des rapports spatiaux, souvent indépendants de la symétrie thécale, les pectinirhombes, au rôle originel plutôt nerveux que respiratoire, seraient-ils des organes d'équilibration ? Chez les

animaux marins, les otocystes, petites chambres où vibrent les otolithes à chaque changement d'orientation, sont les organes équilibratoires habituels ; les sphérides des Échinides, et aussi des organes larvaires d'Holothuries, sont de ce type. Dans les Vertébrés, canaux semi-circulaires et organes vestibulaires sont en rapports avec les directions de l'espace, c'est d'eux que les pectinirhombes se rapprocheraient le plus. Évidemment, aucune étude histologique prouvant ou expliquant le fonctionnement des pectinirhombes en tant qu'organes d'équilibration ne peut être envisagée sur les squelettes fossiles des Pectinirhombifères. Supposons pourtant le fait possible et observons les localisations et les directions des canaux dans les pectinirhombes des genres connus, cherchant les positions d'équilibre qu'ils entraîneraient. On parallélisera ensuite ces données avec ce que nous savons de l'éthologie de ces animaux.

Le matériel qui a servi à ce travail provient de la collection de Verneuil à l'École des Mines, mise à ma disposition par M. le Professeur Jean Piveteau. Quelques genres n'ont pu être étudiés que sur figures.

Localisation basale. — Chez *Cheirocrinus*, *Glyptocystis*, *Cystoblastus* et *Echinoencrinus*, la localisation basale est formée par une paire de pectinirhombes à directions transsuturales rectangulaires, ayant pour côté commun, bissectrice de la paire, la trace d'un plan vertical.

Chez les genres plus récents comme *Lepadocrinus*, *Callocystis*, *Sphaerocystis*, *Pleurocystis*, *Schizocystis*, *Scoliocystis*, etc., il n'y a qu'un pectinirhombe basal, celui de gauche si l'on place l'anus vers l'avant. Parmi ces genres, *Lepadocrinus*, *Schizocystis* et *Scoliocystis* sont aplatis latéralement.

Tandis que, pour la paire basale des premiers, l'équilibre se fera en toute position de la thèque laissant verticale la bissectrice des directions, il n'en est pas de même pour l'unique pectinirhombe basal des seconds. Pour quelles positions de la thèque serait-il en équilibre ? Il y a trois solutions : 1° si la direction transsuturale est verticale ; 2° si elle est horizontale ; 3° si le plan du pectinirhombe est horizontal, ses canaux étant alors dans des plans verticaux. Nous verrons, car il faut tenir compte des autres localisations, que l'horizontalité des canaux transsuturaux est à écarter pour le pectinirhombe basal.

Anticipant sur ce qui suit, on dira que les pectinirhombes basaux pouvaient correspondre à la notion de verticale.

Localisation gauche. — Cette partie est confuse chez *Cheirocrinus* où elle est occupée par plusieurs paires dont les directions accouplées, verticale et horizontale, semblent preuves de stabilité.

Le genre *Echinoencrinus*, représenté dans la collection de Verneuil par des échantillons du Vaginatenskalk de Saint-Pétersbourg, nous permettra d'étudier l'histoire du pectinirhombe gauche :

E. Lahuseni JAEKEL a une paire de pectinirhombes gauches latéraux par rapport à l'anus. Le pectinirhombe distal de cette paire (le plus éloigné du périprocte) n'est pas tout à fait complet, mais, grosso modo, cette paire est comparable à la paire dorsale de la même espèce. L'équilibre n'y peut être établi que par la verticalité du plan bissecteur. La position de cette espèce serait donc précisée par les deux paires de pectinirhombes. Il n'y a pas de pectinirhombe droit.

E. similis PHLEGER, très voisin du précédent, a des dimensions plus faibles, une forme plus aplatie latéralement et une sorte de rotation des deux paires par rapport à l'anus amène la basale diamétralement opposée à l'anus. La direction du pectinirhombe gauche proximal devient alors parallèle au plan bissecteur du pectinirhombe basal passant par l'anus et le pectinirhombe gauche distal est réduit à sa moitié proximale. L'équilibre est donc indiqué par la verticalité d'un plan unique passant par l'anus, bissecteur de la paire basale et entraînant une symétrie bilatérale de la thèque.

Chez *E. angulosus* PANDER, plus trace de pectinirhombe gauche distal et la direction du proximal est toujours parallèle au même plan de symétrie. Le pédoncule, sur un échantillon de la collection de Verneuil, ou figuré par Jaekel, montre une flexion dans ce plan.

E. striatus PANDER est sans doute identique aux trois espèces d'*Erinocystis* JAEKEL, distinctes par leur ornementation probablement plus ou moins usée. Il n'a aussi que le pectinirhombe gauche proximal, mais dont la direction n'est plus parallèle au plan bissecteur de la paire basale qui ne passe plus par l'anus. Ce dernier, situé près du pédoncule dans une pyramide allongée et tordue, est relié à la bouche tubulaire par une crête courbe. Le seul équilibre pour le pectinirhombe gauche place horizontal le plan de la paire basale, ce qui, maintenant vertical le plan bissecteur, entraîne l'horizontalité de la direction du pectinirhombe gauche. C'est la position d'un échantillon pédonculé. Cela explique l'allure des orifices du tube digestif, tous deux

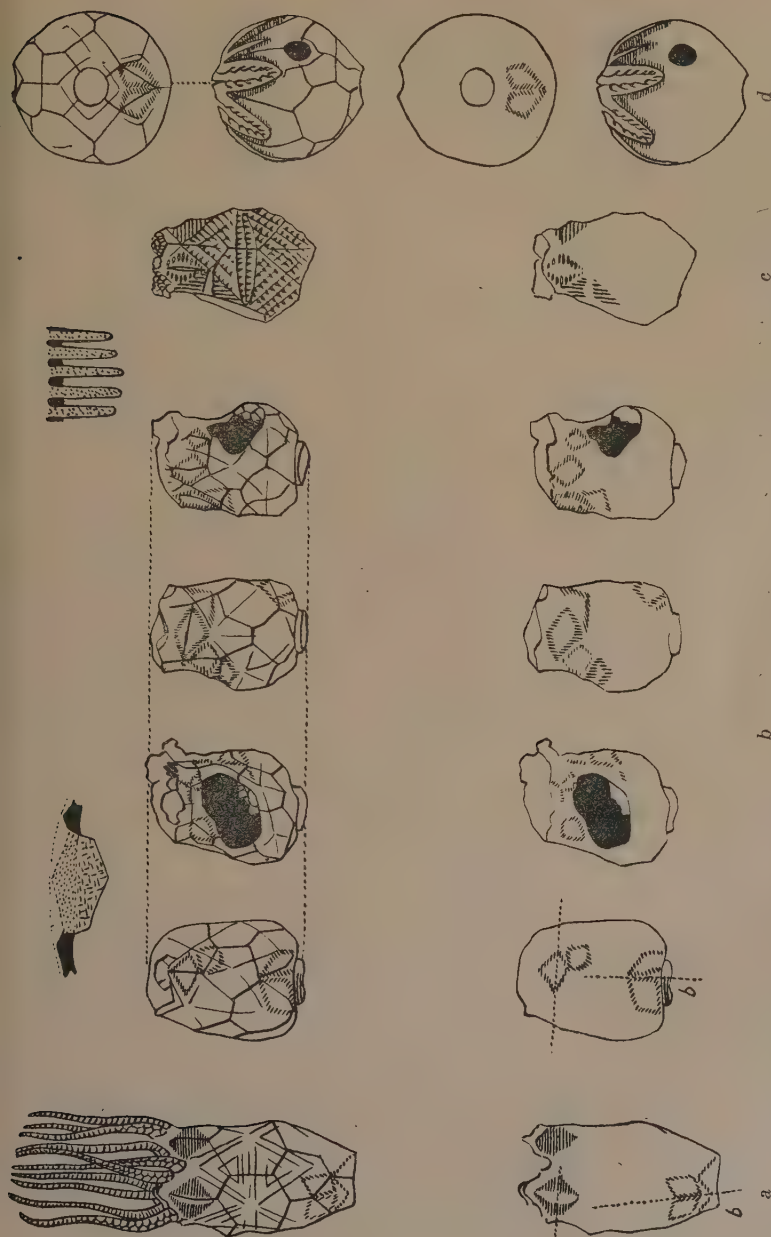


Fig. 3. — Les pectinirhombes de *Cheirocrinus* et de *Cystoblastus*. En bas dessin schématique soulignant les localisations des figures d'en haut. a) *Cheirocrinus* aller BARRANDE, d'après Jackel, b) *Cheirocrinus penniger* EICHWALD, d'après Schmidt, c) *Cheirocrinus sculptus* d'après Schmidt, d) *Cystoblastus Leichtenbergi* d'après Jackel. En haut, coupe longitudinale (à gauche) et coupe transversale (à droite) d'un pectinirhombe de *Cheirocrinidae*.

situés au sommet de la thèque, malgré leur éloignement. La position opposée : bouche et anus infères, est aussi possible.

Chez *Sphaerocystis multifasciatus* HALL, de forme subsphérique, la direction du pectinirhombe gauche est horizontale, l'axe étant vertical, ce qui devait être la position normale.

Le pédoncule de *Lepadocrinus Gebhardi* HALL, figuré par Hall, indique aussi une direction horizontale pour ce pectinirhombe, l'anus acquiert ainsi une position supère, au même niveau que la bouche. La même position serait donnée à l'anus par l'horizontalité du pectinirhombe gauche de *Callocystis Jewettii* HALL.

L'horizontalité de la même direction placerait, chez *Schizocystis armatus* FORBES, le plan du pectinirhombe basal horizontalement. Deux positions sont possibles pour l'anus : supère ou infère. L'échantillon que j'ai eu entre les mains indiquerait l'anus infère ; la figure de Jaekel le placerait supère.

Il semble donc que le pectinirhombe gauche, lorsqu'il est unique, indique la notion d'horizontalité.

Localisation droite. — Le pectinirhombe droit est plus rare et toujours unique.

Parmi les pectinirhombes de *Cheirocrinus penniger* EICHWALD, il en est un, sur le côté droit, presque opposé à l'anus, que Jaekel a d'ailleurs oublié de figurer. Sa direction paraît à peu près parallèle à l'axe. Chez *Lepadocrinus Gebhardi* HALL, *Callocystis Jewettii* HALL, *Sphaerocystis multifasciatus* HALL, sa direction est parallèle à l'axe.

Le pectinirhombe droit paraît donc lié à la direction de l'axe et, n'étant en équilibre que si celui-ci est vertical, il donnerait la notion d'inclinaison de l'axe.

Cas particulier du genre *Pleurocystis*. — Je n'ai pas eu d'échantillon de *Pleurocystis*. D'après le dessin de *P. filitexta* BILLINGS par Jaekel et les photographies de *P. foriolus* BATHER, j'ai pu en étudier les pectinirhombes. Chez ce genre aplati, les trois organes, gardant leurs localisations basale, gauche et droite, sont situés sur la même face, opposée au périprocte qui occupe l'autre côté. Ils s'équilibrent à peu près deux à deux et, quelle que soit l'association choisie, la stabilité ne peut exister avec le troisième que si la thèque est horizontale. Or Bather a justement envisagé pour ce genre aplati un mode de vie flottant, parallèle au fond, ancré par le pédoncule.

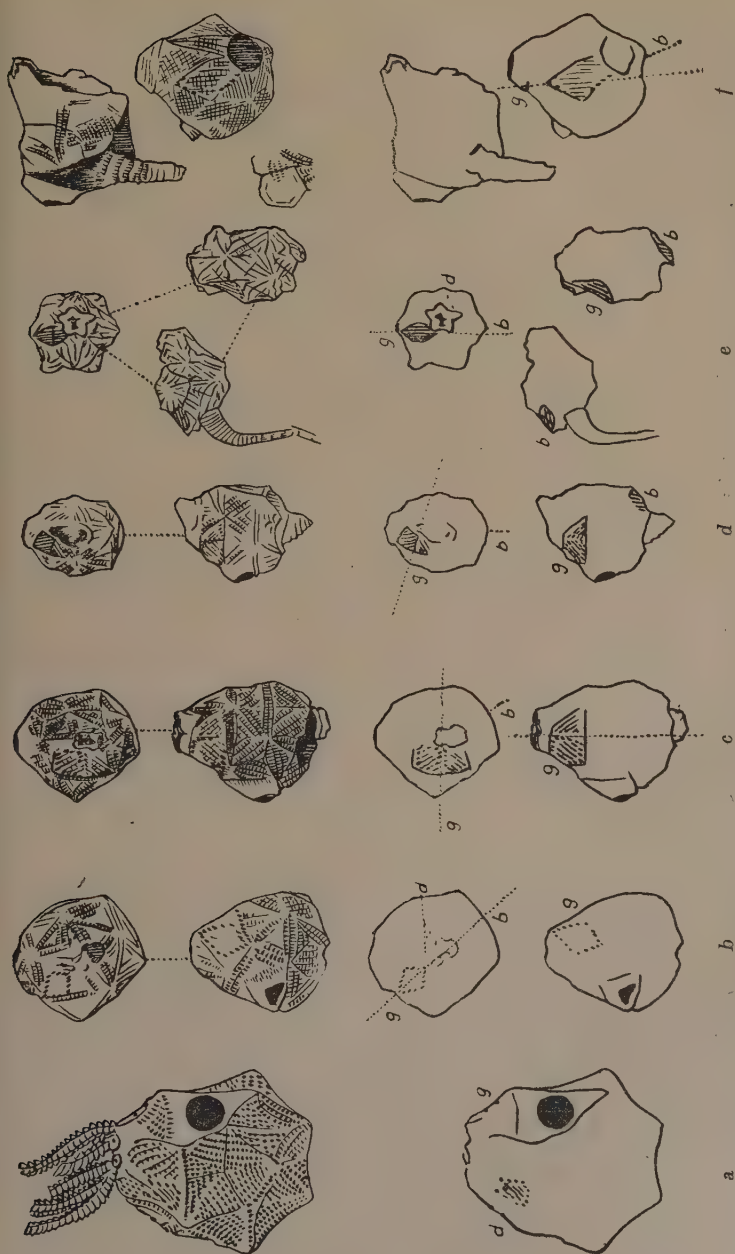


FIG. 4. — Les pectinirhombes d'*Echinoencrinus*. En bas, schéma explicatif des figures du haut. a) *Echinoencrinus reticulatus* JAECKEL, b) *Echinoencrinus senckenbergi* VON MEYER, c) *Echinoencrinus lahuseni* JAECKEL, d) *Echinoencrinus similis* PULSGER, e) *Echinoencrinus angulosus* PANDER, f) *Echinoencrinus striatus* PANDER (dans la figure du haut, détail ornemental de cette espèce montrant le passage de l'ornementation réticulée à l'ornementation lisse).

CONCLUSIONS

A peu près pour chaque Pectinirhombifère, il m'a été possible de donner une explication de la disposition des pectinirhombes en rapport avec l'équilibration; souvent, l'hypothèse a été vérifiée par la position du pédoncule ou la forme de la thèque. Trois ordres de conclusions peuvent être tirés de ces faits :

1° Si les pectinirhombes ont eu des rôles équilibratoires, la localisation basale paraît toujours indiquer la verticale. La localisation gauche, sans grande signification chez *Cheirocrinus*, paraît indiquer une confirmation de la verticalité de la thèque chez quelques *Echinoencrinus* et se spécialiserait dans l'indication de l'horizontale chez les types les plus récents. La localisation droite, peut-être chez *Cheirocrinus*, surtout chez les types plus récents, paraît toujours parallèle à l'axe et indiquerait l'inclinaison de celui-ci.

2° Chez *Echinoencrinus striatus*, *Lepadocrinus* et *Callocystis* entre autres, la position d'équilibre amènerait l'anus au niveau de la bouche. Cela est à rapprocher des Crinoïdes et de deux genres d'*Echinospaeridae* sur lesquels je reviendrai une autre fois : *Orocystis* et *Caryocystis*.

3° L'hypothèse du rôle équilibratoire des pectinirhombes serait d'un certain intérêt dans l'étude du mode de vie des Pectinirhombifères. Nous avons en effet vu coïncider ses indications avec la position du pédoncule. Comme celle des Hétérostélés; la tige de ces Échinodermes, courte sauf chez *Pleurocystis*, était creuse et très élargie à sa partie supérieure qui contenait un muscle puissant, comme chez les Crinoïdes, animant les inclinaisons de la thèque. Les auteurs récents, comme Spencer, pensent que les Hétérostélés étaient capables d'assez amples mouvements, cherchant leur nourriture dans le fond et pouvant même se détacher selon un mode de vie semi-sessile. Sans aller si loin pour les Pectinirhombifères, remarquons que les positions possibles admettent dans plusieurs espèces une rotation d'au moins 180°, la condition unique d'équilibre étant la verticalité du plan bissecteur de la paire basale. Chez *Echinoencrinus striatus* et chez *Schizocystis armatus* nous avons deux positions d'équilibre, plaçant la bouche en bas ou en haut. Il serait tentant de penser que ces animaux, se nourrissant de fines particules, pouvaient diriger leurs recherches dans l'eau ou dans la boue du fond.

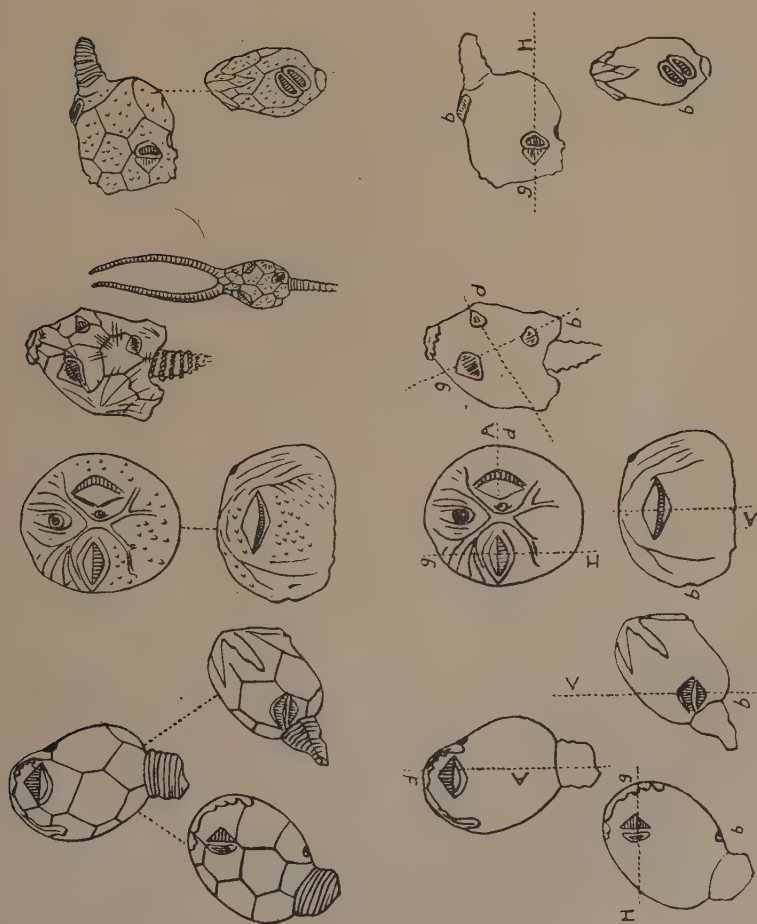


FIG. 5. — Les pectinirhombes des *Glyptocystidae* à pectinirhombe basal simple. En bas, schéma explicatif. a) *Lepadocrinus Gebhardi* HALL, d'après Hall, b) *Sphaerocystis multifasciatus* HALL, d'après Hall, c) *Pleurocystis foriulus* et en haut *P. filitexta*, d'après Jackel, d) *Schizocystis armatus*. En haut et à droite coupe dans un pectinirhombe de *Glyptocystidae*.

OBSERVATIONS RELATIVES AUX GRÈS DE MUGRON (LANDES)

PAR **Fernand Daguin**¹.

Sur la feuille de Saint-Sever de la Carte géologique des Landes au 80.000^e parue en 1881, Jacquot indique au pied des coteaux de Mugron, sur le versant de l'Adour, un affleurement de faluns de Gaas et de Lahosse (m 1) correspondant aux Grès de Mugron et il leur attribue le même âge qu'aux marno-calcaires de Lahosse et de Lourquen dans la vallée du Louts, qui sont stampiens. Mais dans la Statistique des Landes, Jacquot revient sur cette attribution²; il remarque que les grès de Mugron ne reproduisent pas le faciès des calcaires de Lahosse et de Lourquen, malgré la faible distance qui les sépare et il se base sur la présence de quelques rares Operculines pour les rattacher plutôt à ce qu'il appelle l'étage Nummulitique supérieur. D'où l'attribution sur la feuille de Mont-de-Marsan, publiée par Jacquot en 1888, des Grès de Mugron à l'étage supérieur de l'Eocène (e 3).

Ces grès, exploités sur 10 à 15 m d'épaisseur, ont des faciès très variables tantôt compacts en bancs subhorizontaux, très épais vers la base, en bancs plus minces vers leur partie supérieure ainsi que l'a remarqué Jacquot, tantôt présentant des intercalations marneuses ou des niveaux sableux peu développés; les fossiles n'y sont pas si rares que le pensait Jacquot qui n'y a cité que quelques Polypiers, une petite Nummulite et des Operculines, mais ils sont souvent mal conservés et indéterminables. Au-dessus des grès, se trouvent des marnes lacustres correspondant peut-être à l'Étage lacustre du Calcaire blanc de l'Age-nais, puis l'épaisse formation des Sables fauves de Chalosse.

On doit rappeler que Delbos³, étudiant la formation à *Natica crassatina* du Bassin de l'Adour, se demandait dès 1854, s'il ne fallait pas y rapporter « les grès calcaires gris-enfumé, sans fossiles, exploités près de Mugron sur le sommet des coteaux »; c'est

1. Note présentée à la séance du 23 juin 1941.

2. JACQUOT (E.) et RAULIN (V.). Statistique géologique et agronomique du département des Landes. 2^e partie, p. 354, 1888.

3. DELBOS (J.). Essai d'une description géologique du Bassin de l'Adour. *Thèses Sciences Paris*, p. 57, 1854.

certainement à la base qu'il a voulu dire, le sommet étant recouvert par les Sables fauves, ainsi qu'on peut s'en rendre compte sur le terrain et que les cartes géologiques les plus anciennes le représentent, en particulier la carte jointe au mémoire de Delbos qui indique la formation à *Natica crassatina* dans la dépression de Lourquen ; les coupes de puits donnent à cet égard des renseignements précis : un puits à l'hôpital-hospice de Mugron a traversé jusqu'à 17 mètres les Sables fauves et la plupart des puits établis sur le sommet du coteau puisent l'eau à la base des Sables fauves vers 15-18 m. de profondeur.

D'autre part, la présence d'Operculines ne paraît pas suffisante pour caractériser l'Éocène supérieur. M. Reyt¹ a distingué dans le Stampien de Chalosse, au-dessus des marnes et calcaires à *Natica crassatina*, des grès calcaires, mollasses et sables à Operculines, ces dernières rapportées à *Operculina ammonia* LEYM. On connaît des traces de la mer tongrienne à Mugron, Nerbis, Arcet et Banos, localités situées au flanc nord de l'anticlinal de la Chalosse. On sait de plus qu'à Biarritz, dans le Stampien de la Chambre d'Amour, les Operculines sont fréquentes et on en trouve d'ailleurs dans les niveaux inférieurs de la série de Biarritz. Or, sur la notice de la feuille de Mont-de-Marsan, Jacquot a écrit que les grès de Mugron ont été rapportés à la partie supérieure de l'Éocène, en raison des rares Operculines qu'on y rencontre. Ce caractère ne paraît pas suffisant.

La question a été reprise par H. Douvillé² : il faut rappeler ses observations fondamentales : il existe, dit-il, dans la région du Tuc de Saumon, de Cassen et de Mugron, des couches de grès à *Nummulites Bouillei*, *N. vascus* identiques aux couches supérieures de Biarritz et Bayonne : elles surmontent des calcaires et marnes à *Natica crassatina* où la faune de Gaas est associée à *Euspatangus ornatus* et aux Nummulites de Biarritz. Mais, de plus, il a reconnu la présence au Tuc de Saumon de Lépidocyclines, d'où une association qui caractérise, d'après lui, le Stampien dans toute la Mésogée. Et H. Douvillé conclut que l'identité des grès de Mugron avec les couches supérieures de Biarritz reconnue par Jacquot (qui les désignait par e3) permet de penser qu'elles remontent jusque dans le Stampien, comme le pensait Mayer-Eymar dès 1893.

1. REYT (L.). Sur la limite entre le Suessonien et le Parisien en Chalosse. *P.-V. Soc. Linn. Bx*, t. 48, p. II-V, 1895.

2. DOUVILLÉ (H.). Stratigraphie des couches de Gaas. *B. S. G. F.* (4), VI, p. 500, 19 nov. 1906.

En 1917 Dollfus ¹ range les Grès de Mugron dans l'Oligocène moyen, au niveau des calcaires et grès à *Nummulites intermedius* et à *Natica crassatina*.

A la suite de ces renseignements bibliographiques essentiels, je veux attirer l'attention sur des arguments paléontologiques permettant d'appuyer l'attribution au Stampien d'une grande partie de l'importante formation de Mugron. Il faut rappeler tout d'abord qu'on a trouvé à Mugron la Scutelle caractéristique du Calcaire à Astéries du Bordelais : *Scutella Agassizi* OPPENH. ² souvent confondue avec *Scutella striatula* M. DE SERRES, créée pour une forme du Burdigalien de Boutonnet à Montpellier. C'est d'abord M. Cottreau qui a reconnu *Scutella Agassizi* de Mugron dans un lot d'Échinides communiqué par Dubalen. Plus tard, M. Castex ³ cite la même Scutelle des Musées Dubalen à Mont-de-Marsan, provenant de Mugron, en faisant remarquer que cet Echinide est caractéristique du Calcaire à Astéries, Stampien.

D'autre part, j'ai trouvé dans un bloc de grès de Mugron, grossier, un exemplaire bien reconnaissable de *Cerithium* (*Telescopium*) *Charpentieri* BAST. (66 mm. de long., 28 dans sa plus grande largeur). On sait que ce fossile est fréquent à Gaas et Delbos le cite dans sa liste des principaux fossiles des couches à *Natica crassatina* du Bassin de l'Adour. Grateloup l'a figuré, d'après un exemplaire de Gaas. Or, ce Gastropode paraît bien caractéristique du Stampien. D'après Cossmann et Peyrot ⁴ il reste confiné dans l'Oligocène. Dans l'Aquitainien et le Burdigalien inférieur du Bordelais (Mérignac, Saint-Morillon, Martillac) et de l'Adour (Saint-Paul-lès-Dax) on trouve le *Cerithium* (*Telescopium*) *pseudo-obeliscum* GRAT. dont l'angle apical est plus grand et dont le type fut décrit de Saint-Paul-lès-Dax par Grateloup ⁵. Le *Telescopium Charpentieri* serait l'ancêtre du *T. pseudo-obeliscum* et il est bien caractéristique du Stampien de Gaas et du Calcaire à Astéries.

La présence de *Telescopium Charpentieri* à Mugron apporte un argument de plus à l'attribution au Stampien des Grès de

1. DOLLFUS (G. F.). Nouvel étage marin à distinguer dans le Bassin de l'Adour. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 146-148, 4 juin 1917 ; l'Oligocène supérieur marin dans le Bassin de l'Adour. *B. S. G. F.* (4), XVII, p. 101-102, 1917.

2. COTTREAU (J.). Échinides du Nummulitique en Chalosse. *B. S. G. F.* (4), XI, p. 431, 1911.

3. CASTEX (L.). Révision des Échinides du Nummulitique du département des Landes. *Actes Soc. Linn. Bx*, t. 82, p. 23, 1930.

4. COSSMANN (M.) et PEYROT (A.). Conchologie néogénique de l'Aquitaine. *Actes Soc. Linn. Bx*, IV, Gastropodes, p. 255-256, 1921.

5. GRATELOUP (Dr). Conchyliologie fossile des terrains tertiaires du Bassin de l'Adour. I. Univalves. Atlas, pl. 17, fig. 12, 1847-48.

Mugron. Sans doute le faciès est différent de celui des Calcaires de Lahosse et de Lourquen, qui ont fourni le *Cerithium Charpentieri* (Du Boucher le cite dans la liste qu'il donne de Lourquen) ; mais en bordure de la protubérance crétacée de la Chalosse, les conditions de sédimentation pouvaient être très variables et il ne faut pas s'étonner des différences de faciès. J'ajoute que certains blocs de grès de Mugron ont un faciès qui rappelle celui du Calcaire à Astéries ou de certaines lentilles calcaires du niveau de Lesbarritz à Gaas. La pauvreté relative en fossiles, au moins en fossiles macroscopiques, a pu amener des divergences d'opinion sur leur âge, mais il semble bien qu'il faille revenir à la première idée de Jacquot qui les rangeait au niveau de Gaas.

SUR LA PRÉSENCE DU GENRE *MONOCERATOPORA* LANG
DANS L'ANGOUMIEN SUPÉRIEUR
DE LA CHARENTE-MARITIME

PAR **Pierre A. Gillard** ¹.

En examinant une série de plaquettes d'un calcaire verdâtre, à *Praeradiolites ponsianus* D'ARCH., rencontré vers 308 m. par le forage Saint-Pierre-de-Royan², et dans lequel abondent des Bryozoaires, mon attention a été attirée par la présence de fragments d'un bryarium très fragile, incrusté sur des plaques de *Micraster* et sur des esquilles d'une valve de Lamellibranche.

L'étude détaillée de cette colonie montre qu'il s'agit d'un chéilostome cribrimorphe qui ne saurait être rapporté à aucune des formes précédemment reconnues en Aquitaine, et, plus généralement, dans le Crétacique supérieur français.

Le Bryzoaire recueilli à la cote — 308, est, en effet, caractéristique, et, ses particularités peuvent être ainsi succinctement résumées :

Zoarium incrustant, multisérial, unilamellaire et à zoécies dimorphes.

Orthozoécies sub-elliptiques — 00.53 — 00.85 mm. max. — à gymnocyste peu développé, termen indistinct et cryptocyste calcifié³.

Frontale sub-arquée constituée par 17 costules radiales, nettement marquées, concourant à la délimitation d'une aire de coalescence médio-frontale, impaire, réunie distalement à la « barre » hypo-aperturale étroite et quelque peu aplatie suivant l'axe vertical de l'apertura⁴.

Celle-ci, dont le cadre porte 6 épines, est primitive, et, le plus souvent, semi-circulaire.

Avicellaires remarquables, nombreux — un par orthozoécie —

1. Note présentée à la séance du 9 juin 1941.

2. Feuille n° 161 au 1/80.000°. Le « carottage » du forage Saint-Pierre a été obligeamment communiqué à l'auteur par M. Maurice, Directeur de la Compagnie des Eaux de Royan.

3. Région fronto-zoéciale correspondant à ce que W. D. LANG a dénommé « Intra-terminal front wall ».

4. L'ouverture que l'on observe sur la frontale de cette forme zoariale, n'est, en fait, ni une opésie, ni une apertura stricto-sensu. Néanmoins, eu égard à l'analogie relative des formes, le dernier terme peut être conservé.

disposé à la partie médio-distale de l'élément ; leur ouverture triangulaire est entourée d'un cadre montrant les traces d'au moins deux paires d'épines péri-avicellaires.



Trois orthozoécies

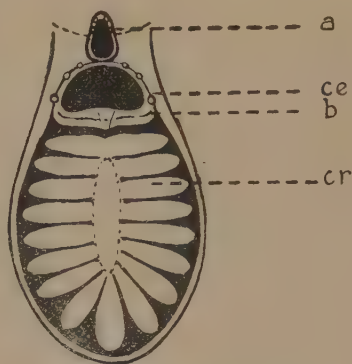


Diagramme schématique :

- a avicellaire distal
- ce cadre péri-apertural, épine proximale
- b barre hypo-aperturale
- cr costule radiale

— = 100 microns

Ovicelles hyperstomiales.

Cette diagnose — caractères généraux, position relative des avicellaires et des ovicelles — est caractéristique des *Andrioporidae* LANG 1916¹.

D'autre part, de l'étude micrographique de l'apertura, des épines péri-aperturales et de l'avicellaire, il ressort que le zoarium considéré ici appartient au genre *Monoceratopora* LANG 1916² — dont le génotype *M. unicornis* LANG³ — est conservé au Department of Geology du British Museum. Ce genre — connu du Turonien supérieur à *Holoster planus* Ag. au Santonien à *Micraster coranguinum* de l'Angleterre méridionale — ne semble pas, à ma connaissance, du moins, avoir été observé dans les horizons synchroniques du continent.

1. LANG W.-J. A revision of « Cribrimorph » Cretaceous Polyzoa. *Annals of the Magazine of Natural History*, ser. 8, vol. XVIII, London, 1916, p. 384. La classification de ces formes est très difficile à établir sur des bases solides du fait que les cribrimorphes récents et actuels, — rangés par les Zoologistes dans le groupe hétérogène des « costulés », — sont, somme toute, peu connus ; leurs larves sont à découvrir ou à étudier et les notions actuellement acquises sur leur anatomie sont restreintes.

2. LANG W. D. *Ibid.*, p. 384.

3. *Type-specimen* D. 28-247. B M.

L'analyse peut, d'ailleurs, en être précisée par des micrométries judicieusement pratiquées sur des zoécies intactes ¹, à l'exception de certaines cellules brephoeciales par trop variables :

zoécie ²	Lz = 530 — 550	lz = 320 — 345
costules	L = 140 — 143	l max = 40 — 45
« Barre » hypo-aperturale	L = 193	l = 33
Apertura	h = 82	l = 146
Cadre péri-apertural	l = 180	e (région latéro-proximale) = 16 e (région médio-distale) = 6
Épines péri-aperturales	p. proximale	d = 10-11
	p. médiane	d = 6
	p. distale	d = 4
Avicellaire distal	p. = 77	l max = 40

On se trouve ainsi amené à rapporter le Cribrimorphe du forage Saint-Pierre, à *M. Lewesiensis* LANG 1916 ³, l'unique représentant mésocrétacique du genre *Monoceratopora* et dont le créateur n'a donné d'autres micrométries que les extrêmes de la zoécie ⁴ mais dont la figure correspondante est absolument conforme au type étudié ici.

Or, cette forme très spéciale, presque exclusivement localisée à un district du Sussex ⁵ est caractéristique de l'horizon à *Holaster planus* Ag.

Sa découverte inattendue à la latitude de Royan est un premier indice de sa dispersion relative. Mais on ne saurait préjuger, jusqu'à plus ample informé, de sa valeur stratigraphique ⁶. Quoi qu'il en soit, il m'a paru intéressant d'en signaler la présence en Charente-Maritime, dans une formation sensiblement synchrone de l'horizon où se trouve sa principale station en Angleterre.

1. L'étude des costules radiales, la recherche des épines péri-aperturales — région médio-distale — et péri-avicellaires est extrêmement difficile. Cette opération peut être facilitée par une coloration préalable du bryarium.

2. Unité micrométrique = $\frac{1}{1.000}$ mm.

3. LANG W. D. *Op. cit.*, p. 389. Type specimen D. 28 248 B. M.

4. LANG W. D. *Catalogue of the Fossil Bryozoa (Polyzoa) in the Department of Geology, British Museum (Natural History)*, vol. III, The Cribrimorphs, part. 1, London, 1921, pp. 167-168, pl. V, fig. 7.

5. J'ai observé un rarissime exemplaire de cette espèce dans la section de la falaise dite Pinhay cliff-Chapel Rock, à quelque distance E de Seaton (Devonshire).

6. Il est, certes, peu d'organismes aussi méconnus que les Bryozoaires bien que leur valeur stratigraphique ait été établie, et en particulier, par F. Canu et G. Lecointre.

JURASSIQUE INFÉRIEUR DE LA SARTHE ET DU MAINE-ET-LOIRE

PAR **A. Bigot** ¹.

Au cours des années 1894 à 1896 et en 1904, j'ai eu l'occasion de relever, dans les départements de la Sarthe et de la Mayenne, des coupes de carrières et de tranchées, dont les renseignements ont été utilisés pour une description sommaire et pour les Notices explicatives des feuilles Mayenne et Laval de la Carte géologique².

Il m'a paru qu'il pourrait être utile de donner un relevé de ces coupes relatives au Jurassique inférieur de la bordure du Massif armoricain, pour compléter les renseignements contenus dans les travaux de Guillier³ et du D^r Delaunay⁴.

Les couches de ce Jurassique inférieur, comme celles de la partie normande du même Massif, ont été conservées à l'état de lambeaux-témoins, plus ou moins éloignés de la limite générale de cette bordure, ou pénètrent dans ses sinuosités avec l'allure de « découpures en jeu de patience » (expression employée par M. Delaunay).

Ces dépôts du Jurassique inférieur (Lias, Aalénien, Bajocien, Bathonien) sont souvent peu épais ; leurs lambeaux sont discontinus, les couches varient de caractères à peu de distance et sont interrompues par de fréquentes lacunes. Leur dispersion, la rareté des fossiles, les variations des caractères lithologiques rendent difficiles les corrélations de certaines couches même dans des lambeaux rapprochés.

Dans la partie moyenne de ces assises, on n'a pu distinguer partout ce qui revient à l'Aalénien, au Bajocien et au Bathonien inférieur, réunis sous une même teinte et avec le symbole J II-J IV, sur les feuilles Mayenne et La Flèche.

CALCAIRES DE JUPILLES. Commune de Fyé (Sarthe). — A la suite

1. Note présentée à la séance du 17 novembre 1941.

2. A. BIGOT. Observations sur la Géologie de la Sarthe. *Bull. Soc. Linn. Norm.*, 4^e sér., t. 10, 1896, pp. xcv-xcvi, *Bull. Serv. Carte Géol.*, t. VII, 1894, p. 42, et IX, 1896, p. 45, *C. R. Collab.*, Campagne de 1894.

3. Géologie de la Sarthe, Le Mans, Monnoyer, 1892.

4. D^r Paul DELAUNAY. Le Sol Sarthois. Le Mans, Monnoyer, 1927-1941, 1408 p. Les terrains jurassiques forment le 3^e fascicule, 1932, pp. 361-544..

de Boehm et de Chelot¹, on a adopté sur la feuille Mayenne le classement de ces calcaires dans l'Hettangien. Cette attribution est discutable. L'Hettangien n'est connu que dans le Cotentin et au Sud de la feuille La Flèche, où il a été découvert par O. Couffon aux environs de Durtal, au-dessous du Sinémurien². Le plus ancien dépôt jurassique d'âge incontestable de la feuille Mayenne est le Toarcien. Si le calcaire de Jupilles est hettangien, il faudrait supposer une incursion momentanée de la mer jurassique, interrompue ensuite pendant le Sinémurien et le Charmouthien. Le calcaire de Jupilles demeure un dépôt énigmatique par ses caractères lithologiques, sa faune et ses relations stratigraphiques.

Le Dr Delaunay a rappelé³ que Paul Lemoine en faisait un faciès littoral du Charmouthien dans un golfe silurien⁴.

CHARMOUTHIEEN ET TOARCIEEN. — Le Charmouthien n'existe pas sur la feuille Mayenne. On le rencontre seulement au Nord de la feuille La Flèche, depuis Chassillé et Loué, où il repose sur les terrains anciens⁵.

Sur la rive gauche de la Vègre, entre Loué et Chassillé, au-dessous de la Ferme de Méribion, un chemin abrupt descend à la vallée vers l'emplacement de l'ancien Moulin Neuf; c'est un véritable escalier, dont les marches sont formées par des lits horizontaux de calcaires durs, marneux et sableux, alternant avec des lits plus tendres. Le sommet de cette série est toarcien (*Hildoceras bifrons*); la base est charmouthienne (*Rhynchonella tetraedra*). Un peu au Nord, on ne reconnaît pas ce Charmouthien dans l'abrupt du Pont de Chassillé. Le Dr Delaunay a trouvé *H. bifrons* dans une lumachelle qui est séparée des Grès à *Orthis Monnieri* par des sables et des grès friables en plaquettes⁶ qui me paraissent être le prolongement du faciès

1. BOEHM et CHELOT. Note sur les calcaires à *Perna* et *Megalodon* du Moulin de Jupilles, près Fyé (Sarthe). *B. S. G. Fr.* (3), t. XV, 1887, pp. 403-414.

Georges BOEHM. Der Fauna der Grauenkalke von Venetien im Departement der Sarthe. *Z. d. d. Gesellsch.*, 1887, pp. 205-211. Ueber die Fauna des Schichten mit *Durga* im Departement der Sarthe, *id.*, 1888, pp. 657-665, pl. XXVII.

2. O. COUFFON. Le Calcaire du Grip (Maine-et-Loire). *B. S. G. Fr.* (4), t. XVI, 1916, pp. 432-438. Deuxième Note sur le Calcaire du Grip (Maine-et-Loire). *C. R. somm. S. G. Fr.* (4), t. XX, 1920, pp. 210-212.

Le Lias de cette région de Durtal n'a pas été indiqué sur la feuille Mayenne La Flèche où la région de ses affleurements est teintée en Cénomanién.

3. Dr DELAUNAY. Le Sol Sarthois, 3^e fasc, pp. 367.

4. PAUL LEMOINE. Géologie du Bassin de Paris. 1911, p. 77.

5. Le peu de largeur des affleurements à l'échelle du 80.000^e n'a pas permis de distinguer le Lias moyen et le Lias supérieur qui sont réunis sous une même teinte dans la vallée de la Vègre.

6. Le Sol Sarthois, 3^e fasc, p. 374.

sableux de la feuille Mayenne plutôt que le Charmouthien qui à Méribion est tout différent. En effet, sur Chassillé, dans la petite vallée au Nord de la Corbinière, le calcaire dévonien d'une ancienne carrière est surmonté par un petit banc sableux de 20 centimètres d'épaisseur, avec de nombreux débris de coquilles et de nombreuses Bélemnites. Au-dessus est une alternance de sables et de grès sableux, épais de 5 mètres, avec *H. bifrons*.

A Chassillé également, on voit dans un chemin montant de la Vègre (La Hantelle) vers Longues des calcaires marneux et sableux, épais de 4 mètres avec *Hild. bifrons*, Bélemnites et nombreux *Plagiostoma toarcense*. Le sommet de ces calcaires est une surface nivelée et durcie, taraudée. Sur cette surface sont des calcaires sableux ou durs, avec *Grammoceras. toarcense* roulés. C'est la base de l'Aalénien supérieur qui, dans le voisinage, dans la carrière de la Tuilerie, contient *Terebratulula perovalis*.

A Loué, la carrière du Pont des Clès¹ exploite des calcaires dévoniens, en bancs redressés de 75 degrés (niveau des monstres de Oehlert). Sur la tranche de ces calcaires est une mince couche horizontale charmouthienne, avec *Liogryphea sportella* et Bélemnites.

Je n'ai vu nulle part de fossiles caractéristiques de la zone à *Dumortieria* ni des zones à *Pleydellia aalensis*, ni de la zone à *Lioceras opalinum*. L'existence de *Pleydellia aalensis* citée à Brunon devrait être confirmée par l'étude des Ammonites du Musée du Mans (Collection Guillier) et du Musée de Laval (Collection Triger). *Pl. aalensis* est signalé par Couffon² aux environs de Durtal, et *L. opalinum* à Beaugé-les-Fours, où il serait accompagné de *Rhynchonella Wrighti*. — Sous cette réserve, le Toarcien supérieur et l'Aalénien inférieur correspondent à une régression marine dans cette partie de la bordure du Massif armoricain. Il me paraît significatif que parmi les Ammonites remaniées à la base de l'Aalénien supérieur il ne se trouve pas d'espèces du Toarcien supérieur ni de l'Aalénien inférieur.

AALÉNIEN SUPÉRIEUR, BAJOCIEN, BATHONIEN. — J'ai indiqué en 1894 et en 1896 pourquoi il avait été impossible de distinguer ces terrains sur la feuille Mayenne et sur la feuille La Flèche (voir

1. Oehlert a donné un dessin de cette carrière dans le Compte rendu de la Réunion extraordinaire de la Société Géologique en 1909. *B. S. G. Fr.* (4), t. IX, p. 592, fig. 12; il classe la couche jurassique dans le Bathonien, comme celle de la Carrière des Forges, située dans cette même vallée du Palais (p. 591, fig. 11).

2. O. COUFFON, Précis de Géologie angevine. Angers, 1934, p. 110.

note infrapaginale 2, p. 229). Ils ont donc été réunis sous le symbole J II-J IV et sous la même teinte, sauf pour le sommet du J IV.

Je rappellerai succinctement qu'en 1896, j'ai signalé que les couches à *Rh. Wrighti* de l'Aalénien supérieur se terminent par une ligne d'usure au-dessous des calcaires à *Haplopleuroceras subspinum*. Ces couches étaient alors classées dans le Bajocien inférieur, J IV.

Aux indications sur l'extension des couches à *Rh. Wrighti* que j'ai données dans ma note de 1938 ¹, s'ajoutent les suivantes. Le Dr Delaunay classe dans l'Aalénien supérieur les sables calcaires à petits galets de quartz exploités sur une épaisseur de 1 m. 60 à la partie inférieure de la carrière Soyer, en Gesnes-le-Gandelain ² ; à Champfleury, une carrière en bordure du chemin de fer a atteint à la base un poudingue calcaire à petits galets de grès. Ce poudingue, épais de 1 mètre, contient *Rh. Wrighti* ; il se lie en haut à un calcaire oolithique, épais de 1 mètre, terminé à sa partie supérieure par une surface aplatie, usée.

Les calcaires à *Haplopleuroceras subspinum* sont terminés par une surface d'usure très marquée, au-dessus de laquelle est une série épaisse de calcaires qui, sur les feuilles de Mayenne et La Flèche, ont été, comme on l'a rappelé, réunies sous la même teinte et le symbole J II-IV. Ces calcaires contiennent des cherts isolés ou disposés en bancs ; leur décalcification a laissé des argiles à silex, couvrant de grandes surfaces, surtout sur la feuille La Flèche.

Les calcaires de la base contiennent des *Parkinsonia*. Au sommet sont d'autres calcaires rapportés au Bathonien, avec *Oekotraustes serrigerus* (Durtal), et *Terebratula maxillata*. O. Couffon ³ cite à Durtal *Parkinsonia Parkinsoni*, *Oppelia subradiata*, *Stepheoceras Humphriesianum* (Carrière de Gouis).

Le sommet du Bathonien a été distingué avec la notation J IV et la teinte correspondante. Il est représenté sur la feuille Mayenne par les Marnes à *Eudesia cardium* et par les Calcaires à *Montlivaultia* (feuille La Flèche et Sud de la feuille Mayenne). Le Calcaire à *Montlivaultia* est transgressif sur les autres assises jurassiques. Au NW de Ségrie, entre la Chouanière et le Châtelet, il repose directement, avec une épaisseur de 1 m. 25 à 0 m. 50, sur le Grès armoricain ; de même aux Étangs. Le som-

1. A. BIGOT. Notes de Géologie Normande, XVII. Les couches à *Rhynchonella Wrighti* de l'Orne et de la Sarthe et leurs Brachiopodes, *Bull. Soc. Linn. Norm.*, 9^e sér., t. I, 1938, pp. 56-60.

2. Le Sol Sarthois, p. 379 et p. 396.

3. O. COUFFON. Le Bajocien et le Bathonien en Maine-et-Loire, *Bull. Soc. Sc. Angers*, LIII^e année, 1923-1924, pp. 69-86.

met de ces calcaires est aplâti, durci, perforé. Il supporte localement des argiles, des marnes et des calcaires rapportés au Cornbrash (Nord de la feuille Mayenne; Saint-Benoît en Chemiré, la feuille La Flèche, Pêcheseul en Avoise). Sur les deux feuilles, le Cornbrash a été réuni sous la même teinte avec les couches à *Eudesia cardium* et les calcaires à *Montlivaultia*.

Guillier a distingué dans son Étage Bathonien un équivalent du Fuller's earth, qui serait représenté à Noyen par des calcaires à *Acanthothyris spinosa*¹, mais ce Brachiopode se trouve aussi dans les calcaires bajociens de Loué et il est, d'après Couffon, abondant à Durtal (Les Rairies) dans les calcaires qui surmontent les calcaires à *Parkinsonia Parkinsoni*.

Coupes dans le Jurassique inférieur de la Mayenne et de la Sarthe

relevées en 1894-1896 et en 1906.

M. Feuille Mayenne — F. Feuille La Flèche.

Les couches sont énumérées de haut en bas.

I. ASSÉ-LE-BOISNE (Sarthe) M.

a) Carrière près de Soulgé-le-Ganelon (près de r de Basse Cour).

7. Calcaires en général peu solides, avec parties plus agglomérées, se débitant en plaquettes, surtout vers le haut, 3 m.
6. Calcaire dur, à grain fin avec délit au milieu du banc : 0 m 35.
5. Calcaire avec peu d'oolithes qui disparaissent à la partie supérieure : 0 m 70.
4. Calcaires oolithique, terminé en haut par une surface irrégulière, perforée. Moules de Gervillies, de Corbis, de Trigonies costées à la partie supérieure; *Parkinsonia* à la partie inférieure (Bajocien) : 0 m 50.
3. Calcaires avec pisolithes, galets calcaires irréguliers, galets de quartz en dragées : 0 m 70.
2. Calcaire dur, avec silex zonés, terminé en haut par un dallage perforé avec Huîtres adhérentes : *Haplopleuroceras subspinitum*, *Pectens* lisses : 0 m 40.
1. Calcaire marneux avec nombreux moules de fossiles : *Ludwigia*, *Pholadomya fidicula*, *Gervillia contorta*, *Cercomya bajocensis*, *Pectens* lisses. Épaisseur : 3 m.

Cette couche 1 se retrouve à la base de la carrière de Douillet. Les couches 1 et 2 sont l'Aalénien supérieur.

1. Géologie de la Sarthe, p. 132.

II. BOURG-LE-ROI (Sarthe) M.

a) Carrière sur le chemin d'Ancinette.

2. Argiles verdâtres à *Zeilleria sublagenalis* (Cornbrash) : 1 m.
1. Calcaire sableux, oolithique avec bancs de plaquettes plus dures, terminé par une table dure, ferrugineuse, dont l'épaisseur varie de 10 à 40 cm. suivant la profondeur à laquelle le calcaire a été endurci : *Montlivaultia sarthacensis*. Visible sur 3 m.

Même coupe sur le chemin de Bourg-le-Roi à Rouessé-Fontaine à 300 mètres de la vieille porte.

b) Carrière dans la vallée sèche entre Villeneuve et la cote 115.

2. Calcaires marneux blancs, avec silex disséminés, gris à l'intérieur, à patine blanche épaisse : *Parkinsonia* ; *Cercomya* (Bajocien).
1. Calcaire grossier, semblable à celui de la couche 1 de Bethon, visible sur 2 mètres. Le contact avec la couche 2 est caché par des éboulis.

c) Chemin de Rouessé, à 200 mètres de la vieille porte.

2. Argile avec Brachiopodes assez communs : *Zeilleria sublagenalis*, *Eudesia cardium*, *Terebratula intermedia*, *Rhynchonella Orbignyana*.
1. Oolithe miliaire, avec Polypiers et Trigonies.

La couche 2 (Cornbrash) affleure sur tout le pourtour de la butte du Vieux Château, notamment sur la route d'Ancinette.

III. BETHON (Sarthe) M.

Talus du Chemin de Bethon à Petit-Oisseau.

2. Calcaire marneux et calcaire lithographique avec Nérinées, Lucines, exploité pour four à chaux : 3 m. (Bathonien).
1. Gros banc de calcaire grossier, avec Trichites, moules de Pélécy-podes *Praeonia rhomboidalis*, visible sur 2 mètres. Il est terminé par une surface durcie et perforée. C'est le banc 1 de la carrière de la vallée sèche de Bourg-le-Roi.

IV. CHAMPFLEUR (Sarthe) M.

a) Tranchée de la Halte, en direction du Mans.

(cf. DELAUNAY, le Sol Sarthois, p. 399.)

3. Marnes à *Zeilleria sublagenalis* (Cornbrash) : 2 m 50.
2. Calcaire en plaquettes, durci et perforé au sommet : 0 m 40.
1. Gros banc de calcaire oolithique *Terebratula maxillata*, visible sur 1 m 60 (Bathonien).

b) Petite carrière à 800 mètres au Sud de Champfleur, entre le chemin de fer et la route de Cherisay.

4. Argilè gris-verdâtre avec *Eudesia cardium* : 0 m 60.
3. Calcaire lithographique durci et perforé au sommet : 0 m 25.
2. Argile gris bleu avec débris de fossiles : 0 m 40.
1. Calcaires en plaquettes, exploités, visibles sur 2 m 50.

c) Carrière en face Grouvel, en bordure E du Chemin de fer.

3. Calcaires oolithiques en plaquettes, tendres, même sableux : 2 m.
2. Calcaire oolithique terminé à sa partie supérieure par une surface durcie ; il se lie en bas à la couche 1.
1. Poudingue calcaire à petits galets de grès, avec fossiles spathiques et *Rhynchonella Wrighti* (Aalénien supérieur).

V. CHASSILLÉ (Sarthe) F.

(Cf. Dr DELAUNAY, le Sol Sarthois, p. 373 et p. 384.)

a) Chemin de la Vallée de la Vègre (la Hantelle) à Longues.

4. Lits de silex : 0 m 20 à 0 m 30.
3. Calcaires sableux et calcaires durs avec Lamellibranches. A la base *Grammoceras toarcense* roulés.
2. Calcaires marneux et calcaires sableux, Bélemmites, *H. bifrons*, *Gramm. toarcense* commun : 4 m. La surface supérieure de ce banc est durcie et perforée.
1. Calcaire à oolithes ferrugineuses, reposant sur de petits bancs marneux tendres (Zone à *Lioceras falciter*?).
(Voir la coupe de la rive droite de la Vègre à Loué.)

b) Carrière dans la vallée au Nord de la Corbière, rive droite de la Vègre, au Sud de la route du Mans.

4. Alternance de petits bancs sableux et argilo-sableux (faciès de décalcification) : 2 m 50. Aalénien supérieur,
3. Alternance de sables et grès sableux avec *Hild. bifrons* : 5 m.
2. Lit sableux avec fragments de coquilles ; Bélemmites : 0 m 20.
1. Calcaire dévonien arasé horizontalement.

VI. CHEMIRÉ-LE-GAUDIN (Maine-et-Loire) F.

(Cf. Dr DELAUNAY, le Sol Sarthois, p. 405.)

Carrière de Saint-Benoist.

7. Sables roux à galets de silex (Alluvions anciennes).
6. Argile bleue sans fossiles (Callovien) : 0 m 30.
5. Deux bancs de calcaire marneux, un peu grenu, séparés par un lit d'argile : 0 m 80.

4. Calcaire très fragmenté, roussâtre, ferrugineux, très fossilifère : 0 m 30.

Le banc 4 contient la faune de Pecheseul, avec de nombreuses Ammonites, Brachiopodes et Oursins.

3. Calcaire mal lité, blanc, un peu spathique ; sur les diaclases Trigonies et *Montlivaultia* : 2 m 50.
2. Calcaire un peu cristallin, blanc et légèrement grisâtre, dont la surface supérieure est un peu irrégulière, mais sans perforations : 1 m.
1. Calcaire crayeux, gris, avec *Plagiostoma*, formant le sol de la carrière.

VII. CHERISAY (Sarthe) M.

Aux Rotours (chemin de Bourg-le-Roi à Petit-Oisseau), sur la rive gauche du petit ruisseau, les calcaires marneux à *Z. sublagenalis* affleurent au-dessous du Callovien. Ils sont visibles aussi sur la rive droite du ruisseau, au Coudray, près de la route de Bourg-le Roi à Fyé.

VIII. CRISSÉ (Sarthe) M.

- a) Carrière de la Butte, près de la route du Mans.

(Cf. D^r DELAUNAY, le Sol Sarthois, p. 373 et p. 383.)

4. Calcaire très fossilifère, avec Ammonites de l'Aalénien supérieur. La partie supérieure est en blocailles : 2 m.
3. Calcaire perforé au sommet : 0 m 20.
2. Gros banc calcaire avec nombreux petits galets de roches anciennes dans la partie inférieure : 2 m 50.
1. Sables assez fins, un peu argileux, blancs et gris, roux en haut. Ces sables, sans fossiles, sont très vraisemblablement toarciens et ont été figurés sous cette teinte sur la feuille Mayenne.

- b) Route de Crissé à Vernie.

Directement sur le Briovérien, calcaires marneux avec petits lits d'argile. Pholadomyes et *Terebratula perovalis* dans les calcaires.

IX. DOMFRONT EN CHAMPAGNE (Sarthe) M.

- a) Tranchée du chemin de l'Habit, au Nord de la Route du Mans.

(Cf. D^r DELAUNAY, le Sol Sarthois, p. 397.)

5. Blocailles calcaires avec petits Pectens lisses : 3 m.
4. Calcaire dur, moules de fossiles et fossiles spathiques, les mêmes que dans la couche 3 : 0 m 30.
3. Calcaire peu solide, avec nombreux moules de fossiles et fos-

siles spathiques : *Beushausenia hirsonensis*, *Trigonia bathonica*, *Gervillies* : 0 m 30.

2. Calcaire à grain fin, peu solide, presque sableux à la base, dur en haut, avec quelques fossiles spathiques : 0 m 50.
1. Sables à fines oolithes et lits irréguliers de calcaires à fines oolithes, sans fossiles. Le sommet, sur une épaisseur de 30 cm, est fortement durci, arasé, aplati, perforé avec Lithodomes dans les trous. Visibles sur 2 m.

b) Carrière de l'Écotay, route de Lavardin,

6. Argile bleue, sans fossiles (Callovien) : 2 m.
5. Calcaire marneux, dont la surface supérieure, très irrégulière, présente les formes en relief qui ont été décrites sous le nom d'*Algacites* : 0 m 08.
4. Argile rousse, avec concrétions ferrugineuses : 0 m 30.
3. Calcaire marneux roux, ferrugineux, très fossilifère : 0 m 85.
2. Gros banc de calcaire blanc jaunâtre, fossilifère en haut, avec *Montlivaultia* : 1 m 20.
1. Calcaire blanc, légèrement oolithique, avec fossiles spathiques, exploité comme pierre de taille, visible sur 3 m. La surface supérieure est aplanie, durcie et perforée.

Les couches 2 à 5, épaisses de 1 m. 83, sont le niveau à *Montlivaultia sarthacensis*. Les fossiles sont nombreux, bien conservés dans les parties ameublées. C'est la faune de Hyéré (Guéret) de d'Orbigny, en partie décrite de nouveau par de la Bouillerie, récoltée autrefois à la Jonnelière où les couches calcaires à *Montlivaultia*, épaisses de 1 m 30, reposent sur une marne graveleuse avec *Eudesia cardium* (15).

c) Dans l'ancienne carrière de la Tuilerie, à l'Est de Domfront, en bordure sud du chemin de fer, les couches à *Montlivaultia*, épaisses de 1 m 30, étaient très fossilifères ; les *Montlivaultia* étaient très abondants. Ces couches reposent sur des calcaires finement oolithiques, terminés, comme à l'Écotay, par une surface durcie, arasée. Elles sont surmontées par 2 m d'argile callovienne.

d) Tranchée du chemin de fer à l'Est de la station de Domfront. A l'extrémité du quai, la faille de Domfront accole les calcaires bathoniens et le Callovien. Celui-ci forme, sur une épaisseur de 8 mètres, la paroi nord de la tranchée jusqu'au pont de la route de l'Habit. Les argiles, gris-bleu, avec cristaux de gypse, se terminent par un banc de calcaires marneux surmonté par 1 m 68 de limons.

X. DOUILLET (Sarthe) M.

Butte du Chemin de Douillet à la route de Fresnay à Sillé.

a) Carrière Ouest.

5. Blocailles calcaires : 0 m 25.
4. Calcaires sableux, avec blocs : *Parkinsonia Parkinsoni* : 0 m 50.
3. Calcaire gris, dur, oolithique, avec débris de fossiles. La surface supérieure est durcie et perforée et porte des Huîtres adhérentes : 0 m 50.
2. Calcaires sableux, avec galets de quartz : 0 m 20.
1. Calcaire très fossilifère : *Stomechinus germinans*, *Pholadomya fidicula*, Nérinées, Rhynchonelles, Térébratules, visible sur 2 mètres.

La couche 4 est bajocienne ; la couche 1 se classe dans l'Aalénien supérieur.

b) Carrière est, 200 mètres de la précédente.

6. Calcaire dur, dont la surface supérieure est perforée : 0 m 20.
5. Sable oolithique : 0 m 15.
4. Calcaire finement oolithique à cassure esquilleuse, terminé par une surface perforée ; fossiles spathiques : 0 m 30.
3. Sables calcaires grossiers, quelquefois agglutinés, Radioles d'Oursins, Bryozoaires très roulés. Surface supérieure perforée, avec huîtres adhérentes : 0 m 12.
2. Calcaire à surface supérieure perforée : 0 m 30.
1. Calcaire oolithique sableux.

XI. FRESNAY-SUR-SARTHE (Sarthe) M.

(Cf. D. P. OEHLERT, Réunion extraordinaire de 1909. *B. S. G. Fr.* (4^e sér., t. IX, 1909, p. 579, fig. 8 (carrière de la Bassesse) et p. 580, fig. 8 (carrière de Beauregard.)

a) Tranchée du Chemin de fer entre les hectomètres 228 et 230.

5. Alluvions anciennes.
4. Argiles gris bleu, jaunâtres par altération (Callovien) : 2 m.
3. Marno-calcaires et plaquettes marneuses avec *Zeilleria subla-genalis*, *Eudesia cardium*, *Terebratula intermedia*, *Nucleolites clunicularis* (Cornbrash) : 1 m 20.
2. Calcaire à *Montlivaultia* terminé par une surface irrégulière, avec concrétions de limonite : 0 m 40.
1. Calcaire oolithique avec *Terebratula maxillata*, Gervillies, terminé par une surface endurcie de 15 à 20 cm et régulièrement plane.

Ce calcaire est visible sur 1 m 50. Près de l'hectomètre 229

la couche 2 repose directement sur une saillie de Grès armoricain.

b) Carrière des Fourneaux, route de la Hutte.

3. Calcaires sableux, avec quelques parties agglutinées en plaquettes ameublées en blocailles à la partie supérieure : 4 m 50.
2. Calcaire grossier, avec galets de roches anciennes ; quelques fossiles : *Trigonia bathonica*, *Plagiostoma*, *Pectens* lisses.
1. Calcaire cambrien, parfaitement aplani, formant dallage, taraudé.

Cette surface en dallage taraudé, avec Lithodomes dans les trous, se trouve aussi sous le Jurassique dans une carrière à la sortie de Fresnay, sur la route de Saint-Aubin-de-Locquenay.

XII. Fyé (Sarthe) M.

Carrière de la Grouas, route de Fyé à Gesnes-le-Gandelin.

3. Blocailles calcaires : 1 m.
2. Sables calcaires, à éléments grossiers avec rares petits galets de quartz, terminés par un banc dur avec fossiles qu'il est impossible d'extraire : 0 m 40.
1. Calcaire sableux, très grossier à stratification entrecroisée, avec nombreux fossiles charriés, Rhynchonelles très roulées, *Terebratula maxillata*, nombreux petits Gastéropodes, visible sur 3 m 50.

XII. GESNES-LE-GANDELIN (Sarthe) M.

a) Route d'Assé-le-Boisne, à 150 mètres de la dernière maison de Gesnes.

2. Calcaires en petits bancs et marnes : Térébratules : 1 m 50.
1. Calcaire grumeleux avec Bryozoaires, *Terebratula maxillata*, faciès des couches de Langrune, plus oolithique en bas avec lit de calcaire lithographique en haut. La surface supérieure de ce calcaire lithographique est durcie et perforée. Visible sur 1 m 20.

Le grès silurien apparaît presque immédiatement en contre-bas.

b) Route de Petit-Oisseau en montant au ruisseau de la Boucaillère :

3. Calcaire dur en blocaux.
2. Poudingue à petits galets avellanaires : 0 m 50.
1. Alternance de calcaires oolithiques, de calcaires marneux mal

agglomérés et de calcaires durs à cassure esquilleuse : Grande Nérinée très allongée, moules de Trigonies du groupe *striata*, d'Astartes, de Gervillies : 8 m.

Les bancs de poudingue, tantôt durs et formant table, tantôt mal agglomérés, sont très développés près de la Rabonnière. Les couches 1 et 2 sont l'Aalénien supérieur.

c) Le Douet, à 8 mètres au-dessus du fond de la vallée.

4. Sables calcaires, avec petits galets plus nombreux que dans la couche suivante; les sables sont de place en place agglomérés en bancs : 4 m.
3. Sables calcaires, avec petits galets disséminés : 0 m 60.
2. Sables calcaires avec très petits galets épars : 0 m 60.
1. Sables siliceux, argileux, à petits galets de grès disséminés, épais de 0 m 80. Ces sables reposent sur la surface nivelée des grès gothlandiens, plongeant de 45 degrés vers le Nord-Est.

LOUÉ (Sarthe) F.

a) Carrière de la Tuilerie, sur le plateau au Nord-Est de Loué.

4. Calcaire sableux avec lits de silex : 3 m 20.
3. Calcaire rognonneux, terminé par une surface perforée : 0 m 45.
2. Gros banc de calcaire, exploité pour moellon, avec moules de Lamellibranches et *Terebratula perovalis* : 0 m 75.
1. Calcaire grossier, dur, jaunâtre, avec cordon de galets irréguliers remaniés du Toarcien, parmi lesquels un *Harpoceras*. Le sommet est dur et raviné. La couche est visible sur 0 m 25. Comparer avec la couche 3 de la coupe de Chassillé-Longues, p. 233.

b) Rive droite de la Vègre, entre Vallanson et le Pont du Tramway sur le ruisseau.

6. Près du passage à niveau de Vallanson, calcaires à *Parkinsonia Parkinsoni*.
- 5-4. Au-dessous, la tranchée du tramway est dans des calcaires en plaquettes, durs, finement oolithiques, surmontant des calcaires durs, avec nodules phosphatés et gros lits de silex : *Ryncho-nella cynocephala*.
3. Calcaires marneux avec *Plagiostoma toarcense*.
2. Calcaire marneux jaunâtre, à oolithes ferrugineuses, avec *Harpoceras falcifer*.
1. Le calcaire dévonien, en bancs très redressés, affleure plus bas au-dessous du tablier du pont.

XIV. PETIT-OISSEAU (Sarthe) M.

Carrière route d'Alençon au Mans, à la hauteur des Vignes.

7. Calcaire marneux, un peu ferrugineux : 0 m 30.
6. Argile grise, avec nombreux Brachiopodes : 0 m 20.
5. Calcaire marneux en plaquettes : 0 m 15 à 0 m 30.
4. Argile grise avec nombreux Brachiopodes, les mêmes que dans la couche 6.
3. Lit marneux, en plaquettes irrégulières : 0 m 40.
2. Argile gris-bleuâtre : 0 m 20 à 0 m 30. (Base de Cornbrash).
1. Calcaire sans délits appréciables, exploité pour moellons. La surface supérieure est aplatie, durcie, perforée, avec huîtres adhérentes, visible sur 3 m.

XV. ROUESSÉ-FONTAINE (Sarthe) M.

a) Carrière route du Mans à Fresnay dans la Butte de Bel-Air, en face du Château de Bestels.

6. Argile gris-bleuâtre avec petits lits calcaires : Brachiopodes : 0 m 40.
5. Calcaire marneux, mal lités : 0 m 40.
4. Calcaire dur, perforé au sommet : 0 m 10.
3. Calcaire mal aggloméré et plaquettes éparses dans un sable oolithique : 0 m 65.
2. Calcaires fendillés, mal lités : 0 m 60.
1. Calcaires blancs avec Céromyes, rognons de silex contenant des débris végétaux.

Les couches 5 et 6 sont la base du Callovien.

b) Talus de la route d'Ancinette, au Nord de Saint-Michel-du-Tertre.

5. Plaquettes de calcaire lithographique et de calcaire oolithique,
4. Blocailles de calcaires, terminées par une surface irrégulière, perforée : Trigonies du groupe des Signées, environ 2 m 50.
3. Calcaire marneux grisâtre, avec Huîtres et *Terebratul* *perovalis* : 0 m 30.
2. Argile jaunâtre, avec lits sableux en bas, argile verdâtre en haut. Nombreux fossiles, dont quelques-uns avec le test : *Terebratul* *perovalis* : 0 m 30.
1. Gros banc de calcaire dur, terminé par une dalle perforée.

Au-dessous, dans les éboulis, on aperçoit des calcaires en gros bancs et en plaquettes, plus bas des sables blancs et jaunes, partiellement agglutinés en grès fossilifères, qui sont les sables et grès aaléniens à *Rynchonella Wrighti*. Les schistes briovériens affleurent au pied de la pente.

XVI. SAINT-VICTEUR (Sarthe) M.

Carrière du carrefour de Brétignolles, route de Saint-Ouen-de-Mimbré.

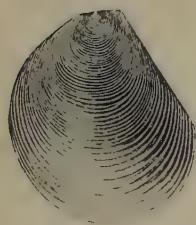
3. Calcaire disloqué au sommet, Oursins et Brachiopodes à la base, mais pas de *Z. digona*, ni d'*Eudesia cardium* : 2 m.
2. Calcaire grisâtre avec quelques oolithes ferrugineuses et argileuses, *Apiocrinus* : 0 m 35.
1. Calcaire terminé par une surface durcie et perforée, avec longues tubulures : *Terebratula maxillata*.

SÉGRIE (Sarthe) M.

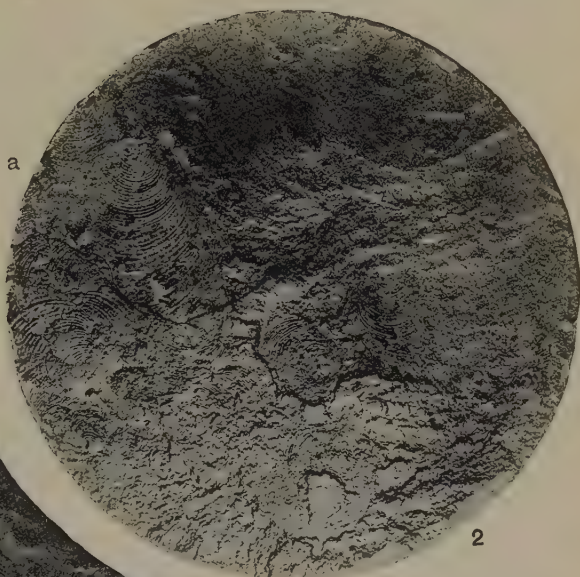
Chemin dirigé sud-est, montant de l'Église à Butte de la Touche.

5. Argiles et bancs glauconieux (Cénomaniens) : 10 m.
4. Argile jaunâtre et rognons de calcaire marneux ; nombreux Brachiopodes : *Zeilleria umbonella*, *Terebratula dorsoplicata*, *Dictyothyris reticulata*, *Rynchonella Royeriana*, *Rh. Orbygnyana*, et *Collyrites elliptica* : 11 m.
3. Calcaire marneux jaunâtre, avec Brachiopodes souvent réunis en lumachelle : *Rynchonella spathica*. *Zeilleria umbonella* : 0 m 60.
2. Argiles bleues sans fossiles : 5 m.
1. Calcaires à *Montlivaultia*.

Le Callovien, représenté par les couches 2 à 4, aurait une épaisseur de 36 m 60.

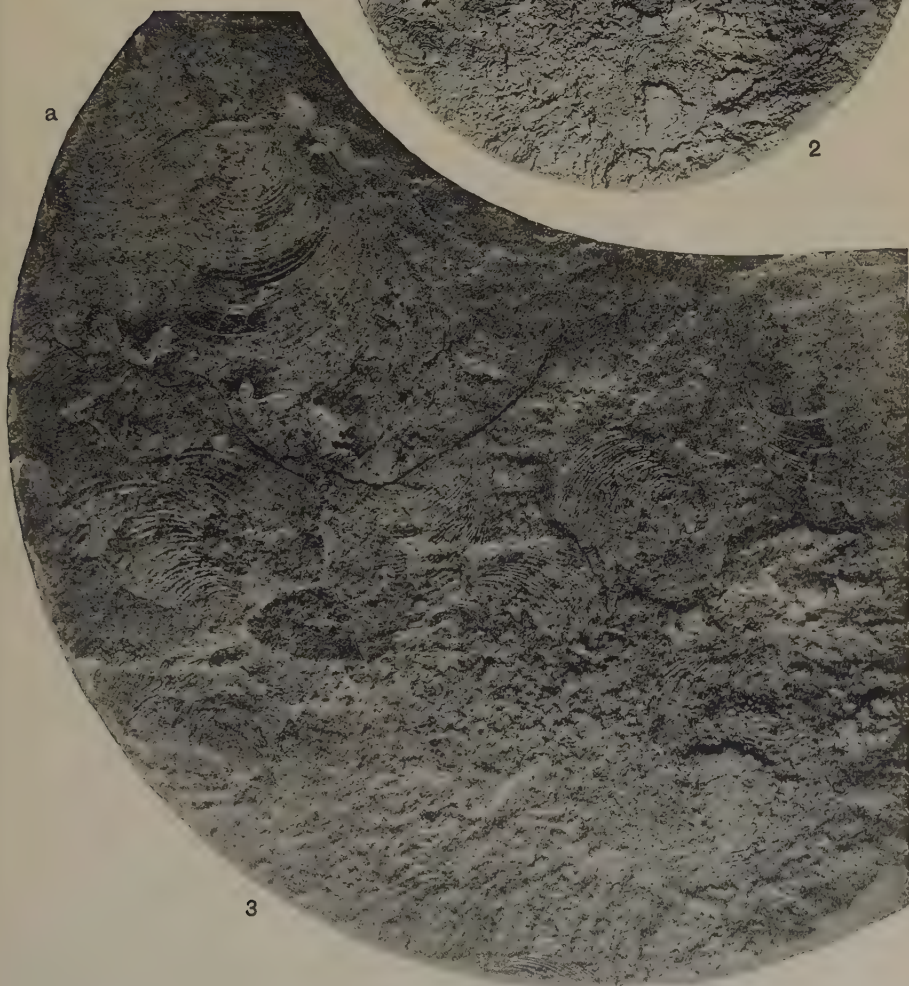


1



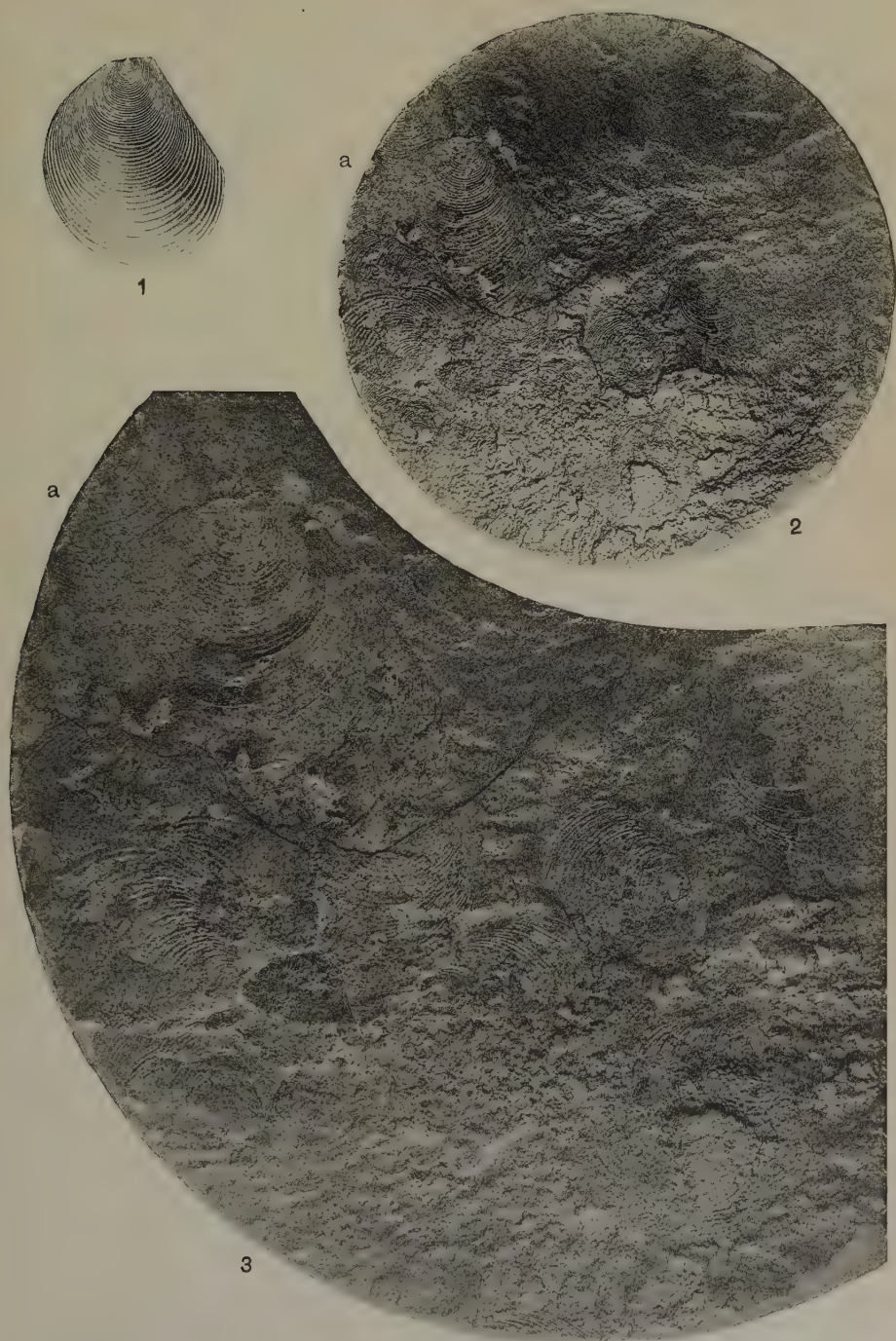
a

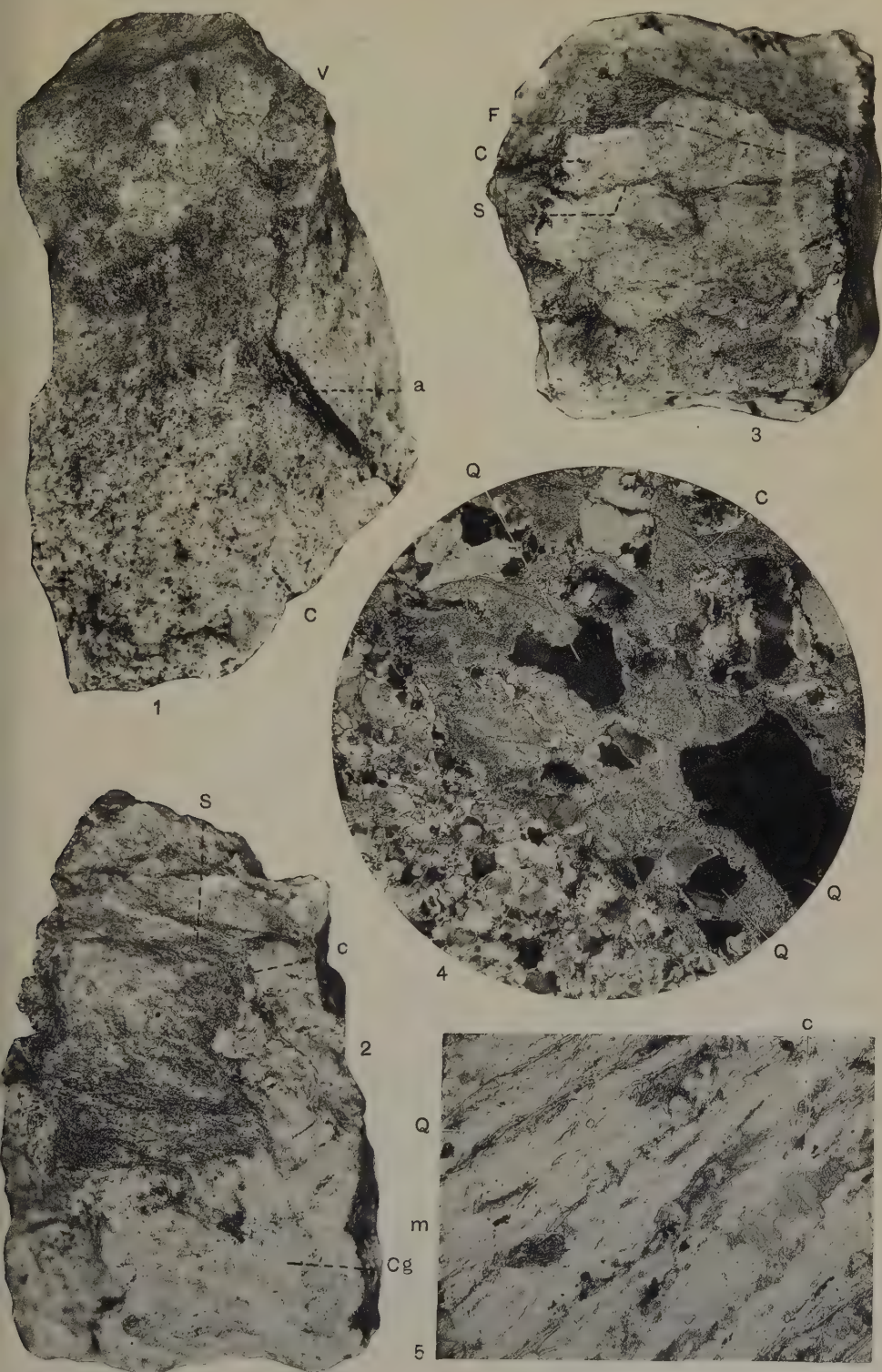
2

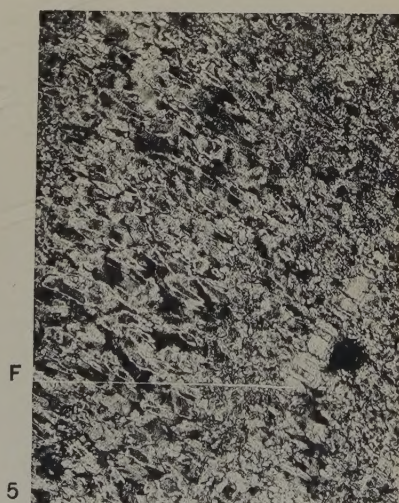
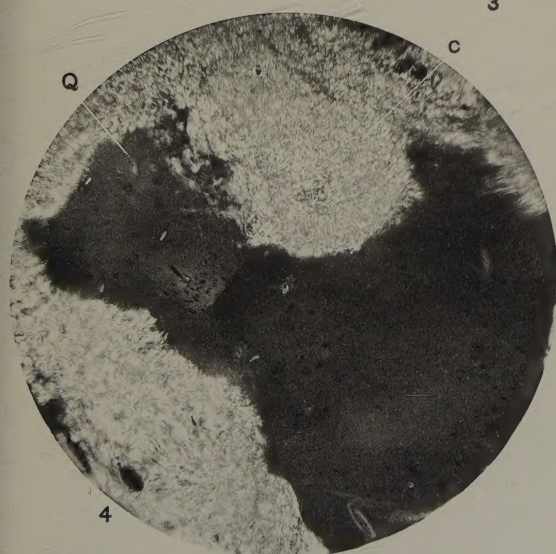
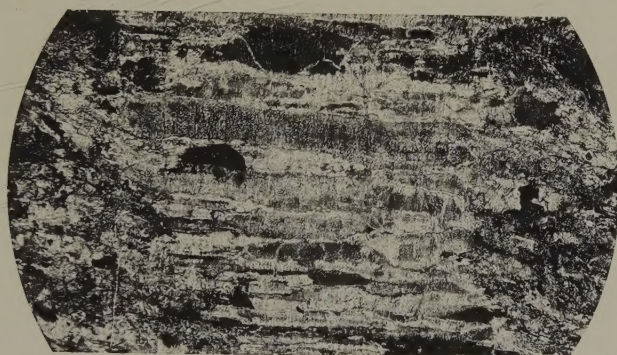
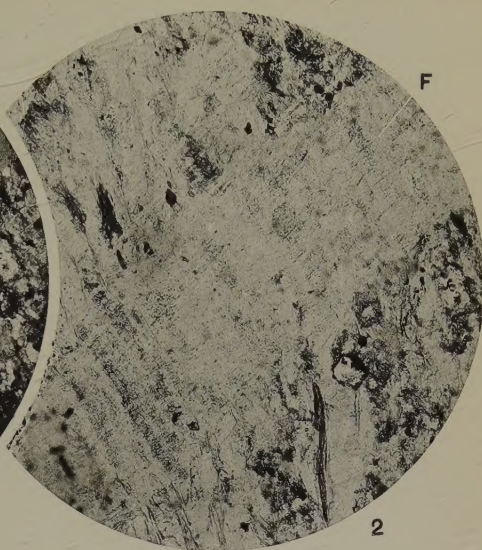
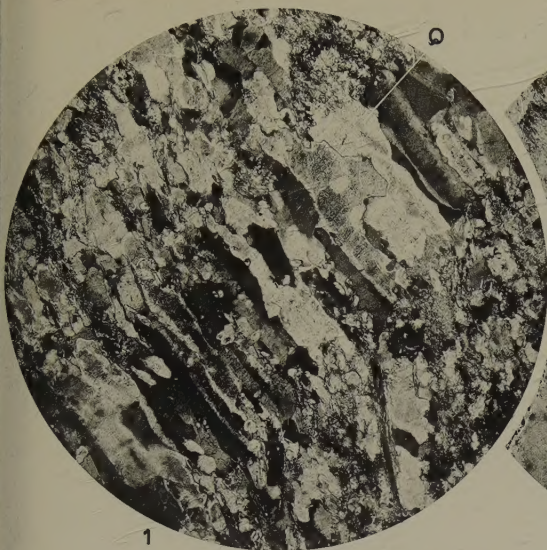


a

3







RÉDACTION DU BULLETIN ET DES MÉMOIRES

(Les auteurs sont instamment priés de se conformer aux instructions ci-dessous pour la rédaction et la présentation de leurs notes.)

Les notes et mémoires ne sont publiés qu'après leur examen par la Commission du Bulletin.

Les manuscrits doivent être déposés le jour même de la présentation. Ils doivent être écrits à la machine et en grand interligne; sur le recto seulement des feuillets. On soulignera d'un trait les mots qui doivent être imprimés en italiques, c'est-à-dire, entre autres, les noms de *famille*, *genre*, *espèce*, *variété* (en latin) et de deux traits ceux qui doivent être imprimés en petites capitales.

Les auteurs sont priés d'indiquer les passages à mettre en petit texte (corps 9) pour les notes destinées au *Bulletin*.

Noms spécifiques. Il ne doit être publié dans le *Bulletin*, les *Mémoires* et les *Comptes rendus* aucun nom d'espèce ou de genre nouveau dont l'auteur n'a pas fourni une description accompagnée de figures.

Le nom spécifique de tout fossile cité doit être suivi du nom de l'auteur qui a fait l'espèce. Ex. :

Reineckeia pseudomutabilis DE LORIOI — *Modiola sulcata* LMK.

Références. On indiquera d'abord, le nom de l'auteur (souligné deux fois), puis le titre, *absolument complet*, de l'ouvrage; de plus, s'il y a lieu, le titre du périodique (souligné une fois), la série, le tome, l'année, la page. Exemples :

H. DOUVILLÉ. Sur l'âge des couches traversées par le canal de Panama. *B. S. G. F.*, (3), XXVI, 1898, pp. 587-600; p. 594, note 3.

IMBEAUX, HOC, VAN LINT et PETER. Annuaire statistique et descriptif des distributions d'eaux de France, Algérie et Tunisie, Belgique, Suisse et Grand-Duché de Luxembourg. 8°. Paris, Dunod, 1903; 1738 p.; p. 504.

Les figures dans le texte doivent être présentées prêtes à être clichées; en conséquence, les dessins doivent être faits à l'encre de Chine sur bristol blanc ou papier d'architecte ligné en bleu. Pour la bonne tenue de notre *Bulletin*, la lettre doit être parfaite.

Tout dessin jugé défectueux par la Commission du Bulletin sera renvoyé à l'auteur ou redessiné à ses frais.

Dans le but de faciliter la mise en pages, les auteurs sont invités à répéter les légendes dans le texte à l'emplacement des figures.

TABLE DES MATIÈRES (TOME XI, FASCICULE 4-5-6)

	Pages
Louis Guillaume. — <i>Posidonomya Mosellana</i> , espèce nouvelle du Sinémurien de Lorraine. (Pl. III)	113
Jacques Bourcart. — Essai d'une classification raisonnée des matériaux meubles. (11 fig.)	117
Maurice Gignoux. — PAUL LEMOINE, 1878-1940 (1 portrait)	155
René Perrin et Marcel Roubault. — Observation d'un « front » de métamorphisme régional. (Pl. IV et V, 5 fig.)	183
Antonin Lanquine et Jean Cuvillier. — Sur les faciès silicieux du Sparnacien dans l'Est et le Sud-Est du Bassin de Paris. (3 fig.)	195
Geneviève Delpey. — Organes spéciaux d'Echinodermes primitifs : les Pectinirhombes. (5 fig.)	207
Fernand Daguin. — Observations relatives aux Grès de Mugron (Landes).	219
Pierre A. Gillard. — Sur la présence du genre <i>Monoceratopora</i> LANG dans l'Angoumien supérieur de la Charente-Maritime. (2 fig.)	223
A. Bigot. — Jurassique inférieur de la Sarthe et du Maine-et-Loire	227